537.05
LU
V.47

No. B3157 DEPARTMENT OF
22069 537015 LU
LIBRARY OF Vol. 47
University of Illinois.
REMOTE STORAGE
Books are not to be taken from the Library Room.

La Lumière Électrique

Journal universel d'Électricité

REMOTE STORAGE

LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE

JOURNAL UNIVERSEL D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR :

Dr CORNÉLIUS HERZ

APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ
LUMIÈRE ÉLECTRIQUE — TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE
SCIENCE ÉLECTRIQUE, ETC.

TOME QUARANTE-SEPTIÈME

UNIVERSITY OF LIBRARY ILLINOIS.

PARIS
AUX BUREAUX DU JOURNAL
31, — BOULEVARD DES ITALIENS, — 31
1893

La Lumière Electrique

JOURNAL UNIVERSEL D'ELECTRICITÉ

XVe ANNÉE

31. BOULEVARD des ITALIENS
PARIS

TOME XLVII

E. TOURNOIS DEL

22069

La Lumière Électrique

Journal universel d'Électricité

31, Boulevard des Italiens, Paris

DIRECTEUR : Dr CORNÉLIUS HERZ

XVe ANNÉE (TOME XLVII) SAMEDI 7 JANVIER 1893 N° 1

UNIVERSITY OF ILLINOIS LIBRARY

SOMMAIRE. — Sur les progrès de l'électricité en 1892 ; P.-H. Ledeboer. — Chemins de fer et tramways électriques ; Gustave Richard. — Nouvelle loi d'induction électromagnétique ; E. Carvallo. — Recherches récentes sur la mesure des températures par les procédés électriques ; J. Blondin. — Chronique et revue de la presse industrielle : Dispositif régulateur de la pression de vapeur, système W. Reid. — Plomb fusible Stanley et Kelman. — Photomètre au sélénium E. Thomas. — Compteur Teague. — Coupe-circuit Dingle et Urquhart. — Turbo-moteur Edwards. — Bain électrolytique double Fletcher. — Appareil électrolyseur Craney. — Accumulateur Eickemeyer. — Electrolyse du chlorure de sodium, procédé Bamberg. — Téléphone Swinton. — Revue des travaux récents en électricité : Société internationale des électriciens (séance du 4 janvier 1893). — Société de physique de Berlin (séance du 21 octobre 1892). — L'effet des harmoniques sur la transmission de l'énergie par les courants alternatifs, par H.-A. Rowland. — Bibliographie : L'induction magnétique dans le fer et les métaux, par M. Ewing. — Leçons sur l'Electricité et le Magnétisme, par Duhem. — Faits divers.

SUR LES PROGRÈS DE L'ÉLECTRICITÉ EN 1892

Ni dans le domaine de l'électricité, ni dans celui de ses applications industrielles il n'y a aucune découverte marquante à porter au compte de l'année écoulée. Il n'y a donc pas lieu de prévoir à bref délai une de ces transformations considérables de l'industrie, telle qu'en ont produit l'apparition de la machine dynamo électrique ou du téléphone.

On ne fait donc que travailler et poursuivre des questions déjà posées, et il n'est pas possible d'augurer dès à présent si l'Exposition de Chicago doit nous réserver ou non quelque grande surprise.

« La foire du monde », comme l'appellent les Américains, offrira certainement au visiteur un ensemble très complet de la science électrique actuelle ; on peut souhaiter tout au moins que le tableau présenté au monde scientifique et industriel ait bien le caractère universel que l'on désire pour cette grande manifestation des progrès modernes.

Il faut avouer d'ailleurs que les principes acquis sont loin d'avoir donné tout ce qu'il est permis d'en attendre au point de vue des applications, et l'absence de nouvelles découvertes ne saurait par conséquent nous dispenser de passer en revue les points sur lesquels ont porté les études principales dont les résultats ont été connus dans le courant de la dernière année.

Deux livres de la plus grande importance ont été publiés ; celui de M. Ewing, sur « l'Induction magnétique dans le fer et les autres métaux », et celui de M. Hertz « Sur la propagation de la force électrique » ; le premier contient l'exposé des magnifiques recherches qui, depuis dix ans, ont renouvelé (il serait peut être plus juste de dire ont créé) la science du magnétisme.

Depuis les travaux de Gauss, en effet, les progrès avaient été à peu près nuls ; il serait sans doute injuste d'oublier en particulier les travaux de Wiedemann, qui a insisté sur l'analogie des phénomènes magnétiques avec ceux de l'élasticité résiduelle, mais on doit bien reconnaître que, d'une part, on s'était borné à des expériences entreprises sur une petite échelle, dans des champ peu intenses, et d'autre part que l'idée vivifiante, la notion d'hystérésis n'avait pas encore toute la netteté nécessaire. Le livre de M. Ewing contient les résultats désormais fondamentaux des études effectuées dans les champs constants ou très lentement

variables ; à ce titre il n'est pas à craindre qu'il vieillisse de si tôt. Il est vrai que la science marche vite et M. Ewing, dans sa préface, a signalé d'intéressants travaux qui avaient paru pendant l'impression de son livre ; lui-même a déjà publié plusieurs mémoires, mais dans lesquels il s'agissait de champs alternatifs : il a donné une méthode pour l'étude du phénomène de l'écran magnétique dans les noyaux des transformateurs, et d'autre part créé un appareil très élégant qui, pour des fréquences moyennes, donne des courbes d'hystérésis continues et visibles. Espérons qu'il continuera à s'occuper de cette seconde branche du magnétisme, avec les nombreux savants qui ont tourné du même côté leurs investigations.

Si les phénomènes périodiques font l'objet de nombreux travaux en magnétisme, les oscillations électriques ont été également depuis quelques années un champ fécond. M. Hertz a jugé l'heure opportune pour réunir en un volume les divers mémoires où il a exposé ses mémorables recherches, et, en effet, s'il a fallu dans certains points, modifier l'idée première qu'il avait émise, on peut dire que son explication des phénomènes oscillatoires de très hautes fréquence, basée sur les idées de Maxwell est solidement établie et universellement admise. De nombreux savants ont poursuivi les recherches dans différentes voies, mais il semble que l'ardeur se soit un peu refroidie ; les quelques résultats publiés cette année ne sont guère que des confirmations de travaux antérieurs.

Nous croyons toutefois devoir accorder une mention spéciale aux expériences de M. Bjerknes, parce qu'elles montrent l'intérêt qu'il y a à aborder une même question par des méthodes différentes : M. Bjerknes avait déjà, en se servant de l'électromètre, démontré qu'à cause de la grande différence des amortissements, la période du résonateur joue le seul rôle important, au détriment de celle de l'excitateur ; il vient de montrer que les divers métaux ne jouent pas tous identiquement le même rôle vis-à-vis des oscillations électriques, et que les premières conséquences que M. Hertz ait déduites de ses expériences tenaient à l'emploi de l'étincelle comme moyen de déceler les oscillations électriques.

Pendant que les expérimentateurs s'arrêtent, les théoriciens peuvent utiliser le riche ensemble de résultats déjà obtenu ; c'est ce que fait en particulier M. Poincaré. L'illustre savant est revenu sur ces questions qu'il a déjà traitées à plusieurs reprises, et il sème les idées les plus originales et les plus fécondes ; c'est ainsi qu'il vient de supprimer ce que beaucoup de personnes considèrent comme la plus grande difficulté de l'œuvre de Maxwell ; il a montré que l'hypothèse des courants de déplacement n'était pas indispensable et qu'on pouvait, dans l'étude des mouvements électriques dans les conducteurs, retrouver les résultats de Maxwell en admettant que l'action inductrice électromagnétique se propage avec une vitesse finie.

A l'Association Britannique, on s'est occupé également de fixer définivement certains étalons électriques ; la valeur 106,3 de l'ohm a été considérée comme exacte à environ 1/10000 ; il est à remarquer que la commission des étalons électriques à fixé la longueur et le *poids* de la colonne de mercure ; l'équivalent électrochimique de l'argent et le rapport du volt à la force électromotrice du latimer-clark à 15° ont été également fixés.

L'intérêt de ces prescriptions réside surtout dans le fait qu'elles ont été en quelque sorte formulées par un congrès international ; bien que le mot n'ait pas été prononcé, des invitations avaient été envoyées à des physiciens de divers pays et l'adhésion complète que ces savants ont donnée aux résolutions de la commission les consacre définitivement. Un rôle important a été, en particulier, joué par M. von Helmholtz qui doit faire adopter comme légales les propositions formulées. L'éminent représentant de la science allemande, à qui d'admirables travaux ont valu ses lettres de noblesse, a pu saluer dans lord Kelvin un illustre rival scientifique chez qui un égal mérite avait été récompensé par l'élévation à la pairie.

D'ailleurs, à cette session de l'Association Britannique, il n'est apparu aucun résultat capital ; ce qu'il y a de plus intéressant est peut-être la discussion des mémoires et les échanges de vues auxquelles elle a donné lieu entre les savants qui se trouvaient réunis.

Par exemple, au sujet des phénomènes fondamentaux de l'électrostatique, du développement de l'électricité par frottement, lord Kelvin a insisté sur l'importance de plus en plus grande que prenaient des faits négligés jusqu'ici, surtout faute d'explication suffisante.

A un point de vue différent, il est certain que les propriétés des isolants sont loin d'être sans intérêt à une époque où les courants intenses et les tensions élevées sont devenus l'ordinaire. Aussi faut-il applaudir aux recherches qui ont pour but, soit expérimentalement, soit par des inductions théoriques, d'étudier et d'expliquer les propriétés, naguère encore si obscures, des diélectriques et doit-on constater avec satisfaction que les propriétés des corps diélectriques ont été cette année l'objet de nombreuses études. Les résultats de ces études confirment expérimentalement les vues théoriques développées par Maxwell dans son magistral « Traité de l'électricité ». La coexistence du pouvoir diélectrique et de la conductibilité, vérifiée expérimentalement par MM. Cohn et Arons, et plus récemment par M. Bouty, avait été admise par Maxwell dans sa théorie des diélectriques composés, théorie qui rend très nettement compte des causes de la formation du résidu. Cette partie du livre de Maxwell semble avoir été trop peu explorée, puisque ce phénomène du résidu a été depuis l'objet des interprétations les plus diverses et les plus hasardées.

Pour expliquer les phénomènes résiduels on a même cru devoir admettre une nouvelle forme d'énergie intermédiaire entre la chaleur et l'électricité.

Dans une toute récente étude sur les isolants, M. Hess, en se restreignant à l'étude d'un cas particulier, a montré la formation du résidu telle que le prévoit cette théorie. Mais son travail présente aussi un grand intérêt pratique en ce sens qu'il dénonce la confusion très souvent faite entre les courants de déplacement et les courants dus à la conductibilité. Un condensateur ou un câble mis en relation avec une source d'électricité se charge, et si le diélectrique est imparfait la charge est très lente. Le courant de charge n'est pas inversement proportionnel à la résistance d'isolement; celle-ci peut même être infinie, et l'est probablement dans beaucoup de cas. On ne peut donc pas dire que la force électromotrice de la pile divisée par l'intensité du courant observée, par exemple, au bout d'une minute représente la résistance d'isolement.

Un grand nombre d'études sur les variations de la résistance d'isolement sous diverses influences ne conservent donc pas la signification que leur ont attribuée les auteurs. Le travail de M. Hess a d'ailleurs permis de montrer les causes de divergences dans les résultats de ces études, et elle se trouve d'accord sur un grand nombre de points importants avec les travaux remarquables de M. Curie sur les propriétés diélectriques des cristaux. Toutefois, l'interprétation des faits expérimentaux par cette théorie n'est encore qu'une première approximation, et nous croyons qu'il conviendrait de la compléter en tenant compte des propriétés électrolytiques des substances entrant dans la composition de beaucoup de diélectriques hétérogènes.

La question des perturbations magnétiques terrestres a été discutée plusieurs fois cette année; l'étude des courants telluriques a été entreprise en détail dans certains observatoires, en particulier au Parc-Saint-Maur, quelques travaux intéressants sur les phénomènes actinoélectriques ont été publiés.

Il est à souhaiter que toutes ces recherches, ainsi que les discussions relatives à l'origine de l'électricité atmosphérique, arrivent à éclaircir ces diverses question et à déterminer leur importance véritable au point de vue de la météorologie du globe. Nous rappellerons que de belles espérances peuvent se fonder sur les expériences du commandant Renard, qui, lançant des ballons jusqu'à vingt mille mètres, nous procurera probablement des notions utiles sur la variation du potentiel électrique dans l'atmosphère et sur la formation des orages.

L'électricité a permis d'aborder les plus difficiles problèmes de dynamique chimique, la théorie de la dissociation électrolytique, la mesure des conductibilités des électrolytes et des pouvoirs inducteurs spécifiques ont éclairé ces curieuses questions.

Une nouvelle méthode de détermination des poids moléculaires par la mesure des conductibilités a pris naissance, venant ainsi s'ajouter aux nouvelles et ingénieuses méthodes physiques de cryoscopie et de tensions de vapeur.

Comme le faisait remarquer le savant professeur de l'Université de Wurzbourg, au récent jubilé de la Société chimique de Berlin, l'électricité a introduit en chimie un nouveau filon qui mettra au jour de nouvelles lois et arrachera à la nature de nouveaux secrets.

Au point de vue photométrique, nous avons à signaler les curieuses expériences de M. Char-

les Henry, expériences basées principalement sur la loi de décroissement du pouvoir éclairant des substances phosphorescentes. L'auteur a été conduit par ses investigations à proposer un nouveau photomètre d'une extrême simplicité et présentant le caractère spécial qu'on peut apprécier avec son aide des pouvoirs éclairants si faibles qu'aucune autre méthode ne donnerait de résultat.

Dans le courant de l'année, nous aurons l'occasion de revenir avec détails sur cette importante question; aussi nous bornerons-nous ici à l'indiquer sans entrer dans des explications plus complètes.

Aujourd'hui que les courants alternatifs entrent de plus en plus dans la pratique industrielle et sont l'objet d'applications importantes à l'éclairage, il est nécessaire de se rendre compte des propriétés de l'arc à courants alternatifs : celles-ci n'étaient jusqu'ici connues que d'une manière superficielle, d'après quelques expériences peu nombreuses, en particulier celles de M. Joubert.

M. A. Blondel a repris cette question d'une manière complète à deux points de vue différents : il s'est proposé de déterminer d'abord suivant quelles lois s'éteint et se rallume à chaque alternance le courant de carbone qui constitue l'arc; puis d'étudier les formes de courbes périodiques qui caractérisent les phénomènes électriques. Il y a réussi à l'aide d'enregistrements photographiques suivant les méthodes qui ont été décrites dans ce journal.

Les résultats ont permis d'interpréter les faits déjà connus et de constater un certain nombre de phénomènes nouveaux et intéressants. Ils montrent que la façon dont se comporte un arc à courants alternatifs dépend, dans une très large mesure de la nature des crayons employés, des constantes du circuit d'alimentation, et de la loi de variation de la force électromotrice induite.

Aussi peut-on, suivant les cas, obtenir des extinctions plus ou moins prolongées, et surtout des formes de courbes périodiques des plus variées.

La forme de rectangle, qu'on admet en général comme représentant à peu près la loi de variation de la tension, est en réalité un cas assez rare qu'on obtient seulement avec des crayons homogènes assez durs et beaucoup de self-induction dans le circuit. Avec les crayons tendres ou à mèche tendre les courbes sont au contraire des plus arrondies. L'auteur a mis en évidence, dans les arcs sifflants, une annulation prolongée de l'intensité, qui est très caractéristique de ce phénomène.

La tension et l'intensité passent ensemble par zéro dans tous les cas étudiés, et par conséquent la différence souvent considérable constatée entre la puissance apparente dépensée et la puissance vraie mesurée au wattmètre ne provient pas, comme on le dit souvent, d'un décalage entre le courant et la tension, mais uniquement des formes des courbes périodiques, l'intensité restant très faible ou même nulle, pendant que la différence de potentiel est maxima.

Cette absence de décalage est fort importante au point de vue de la théorie de l'arc, car c'est la preuve directe de l'absence de toute force contre-électromotrice appréciable. Au même point de vue, on peut signaler aussi l'expérience par laquelle l'auteur a démontré que le courant de carbone dans l'arc va réellement du positif au négatif, et a déterminé l'ordre de grandeur de sa vitesse.

M. Blondel a étudié en outre les phénomènes de sifflement et l'effet des champs magnétiques puissants; les extinctions extrêmement rapides et d'apparence oscillatoire qu'il a constatées présentent aussi un certain intérêt au point de vue des effets des souffleurs magnétiques employés dans les expériences de MM. Tesla et Elihu Thomson.

Nous ne pouvons que mentionner ici, sans en faire l'analyse, les études du même auteur sur le couplage et la synchronisation des alternateurs. Son mémoire très développé pourra, avec celui de M. Boucherot sur le même sujet, contribuer à éclaircir cette question qui a fait l'objet de tant de controverses.

La grande lutte entre les partisans du courant continu et ceux du courant alternatif est loin d'être finie; on peut cependant dire que le courant alternatif gagne du terrain, bien que les partisans du courant continu soient loin de vouloir abandonner la lutte. Il est d'ailleurs très peu probable que l'un de ces systèmes fasse complètement oublier l'autre. Lorsqu'il s'agit de petites installations ne couvrant que des espaces restreint le courant continu sera toujours préféré. Le courant alternatif n'offre d'a-

vantage que lorsque les distances deviennent considérable. Aussi a-t-on installé aux États-Unis des stations centrales pourvues des deux systèmes, celui à courant continu pour desservir les clients peu éloignés de l'usine, et celui à courant alternatif pour les autres. L'usine municipale des Halles possède d'ailleurs, comme on sait, également les deux sytèmes de courants, mais nous ignorons si on a nettement déterminé lors de l'établissement de l'usine, quel serait le rôle respectif de ces deux systèmes.

Les mémoires auxquels nous avons fait allusion plus haut montrent que le couplage en parallèle des machines à courants alternatifs est chose aisée; on réalise ce couplage actuellement avec facilité dans plusieurs stations centrales.

Une grosse difficulté reste toujours à résoudre dans le domaine des courants alternatifs, c'est celui de pouvoir charger des accumulateurs. Il paraît toutefois que cette difficulté a été vaincue facilement par MM. Hutin et Leblanc, et que des expériences en grand sont sur le point d'être effectuées. Cette découverte offrirait un nouveau débouché à ce genre de courants et en multiplierait dans de grandes proportions l'application. Cette question revient en somme à transformer un courant alternatif en un courant continu. Remarquons en passant qu'on doit aux mêmes auteurs une méthode très ingénieuse de transformer un courant triphasé en deux systèmes de courants alternatifs simples.

Jetons maintenant un coup d'œil sur les progrès de l'industrie électrique à Paris.

Le secteur d'éclairage des Champs-Elysées a commencé son service. Il présente, avec ceux qui existent déjà, cette différence qu'il fonctionne avec le courant alternatif.

Il n'a qu'une station centrale, qui est située au bord de la Seine, dans la commune de Levallois-Perret. Les machines à vapeur sont à cylindres horizontaux; elles ont été fournies par la maison Farcot; les machines dynamo-électriques, construites par la maison Hillairet, sont d'un type analogue aux machines Ganz. Une partie du secteur seulement est desservie jusqu'ici, mais le développement doit en être très rapide. Quant aux secteurs anciens, ils ont continué leur progression, régulière.

S'il n'a pas été fait de grandes installations nouvelles, les usines et les canalisations de distribution ayant acquis dans le cours de l'année dernière leur développement normal, l'éclairage n'en a pas moins continué de s'étendre.

Il est intéressant de remarquer que malgré les promesses d'abaissement du prix du gaz, promesses vaines d'ailleurs, les abonnements ont dans les diverses Sociétés reçu un accroissement régulier. Ajoutons que ces diverses exploitations ont mis à profit l'expérience pour améliorer leurs installations. Par exemple, la Compagnie Edison a supprimé dans sa canalisation toutes les parties qui avaient été faites en tuyaux de poterie operculaires avec câbles nus, ces canalisations ayant montré des inconvénients. On a introduit la pratique utile de la ventilation des caniveaux, pratique indiquée par les quelques explosions peu graves et assez mal expliquées du reste qui se sont produites en certains points.

La seule concession importante qui ait été faite est celle de l'éclairage des abattoirs de La Villette, accordée à la Société d'éclairage et de force, sur le secteur de laquelle se trouvent ces établissements. Une nouvelle usine va donc s'élever sous peu.

Une application de l'électricité nouvelle pour Paris, mais qu'on s'étonnait de n'y pas voir, s'est produite en 1892; c'est la traction électrique. Une ligne de tramways, celle de la Madeleine à Saint-Denis, est en service; une autre va y entrer, et l'on compte voir le procédé s'étendre et se généraliser bientôt. On a adopté le système par accumulateurs; en dehors de toute considération technique, il s'imposait, les câbles n'étant pas acceptés à Paris. Après les hésitations inévitables au début, le service a pris son cours et se fait très régulièrement. On y a inauguré des dispositions ingénieuses et nouvelles, telles que le freinage obtenu par la machine dynamomotrice elle-même. Pour ce qui concerne les rendements et les résultats économiques, il paraît certain qu'ils seront convenables, mais il faut attendre une expérience plus prolongée pour avoir des chiffres.

En province, l'éclairage électrique suit également un cours normalement ascendant, et il serait oiseux de rappeler toutes les nouvelles installations qu'on a réalisées. Beaucoup de villes se trouvent liées aujourd'hui par des contrats avec des compagnies gazières, et le plus

souvent ces contrats sont rédigés de telle façon qu'on ne peut dire si une société électrique à le droit de s'installer à côté de la compagnie gazière. Tant que ce point ne sera pas légalement résolu, les installations électriques seront forcément restreintes, et comme les contrats en question ont pour la plupart encore plusieurs années à courir, on ne prévoit pas de suite une amélioration dans ce sens.

Quant à la traction électrique, elle n'est représentée en France que par une ou deux lignes. En dehors du tramway de Paris dont il est question plus haut, on n'a à enregistrer cette année que l'installation du tramway de Marseille; mais on parle d'en établir un nouveau entre le Havre et Montivilliers.

A l'étranger, on constate des progrès analogues pour ce qui concerne l'éclairage et la traction électriques. Ce dernier mode de transport est encore très peu répandu en Europe, contrairement à ce qui se fait en Amérique.

Nous terminerons cette courte revue en disant quelques mots de l'une des applications les plus curieuses du courant électrique continu : l'électrolyse.

Pour beaucoup d'applications de ce genre, il est de toute nécessité d'avoir à sa disposition un courant rigoureusement continu. Or, toutes les dynamos ordinaires ne donnent que des courants redressés; ces courants sont loin d'avoir une intensité constante, malgré la multiplication des lames du collecteur. Aussi a-t-on trouvé dans certaines industries des résultats assez défavorables pour être obligé de changer ces machines contre d'autres à courant rigoureusement constant, c'est-à-dire des machines unipolaires. On a entrepris la construction de ces machines sur une grande échelle, mais nous ignorons si le rendement en est aussi bon qu'on l'a espéré.

On prépare maintenant par l'électrolyse non seulement l'aluminium, mais encore le magnésium et surtout des quantités toujours croissantes de cuivre chimiquement pur. Cette année l'aluminage par voie humide électrolytique est devenu courant.

La préparation du chrome électrolytique est aussi désormais possible; une plaque de un kilogramme, préparée par l'électrolyse de l'alun de chrome en solution sulfurique, a été présentée à l'Académie des sciences en même temps qu'une foule d'objets métalliques recouverts de chrome par électrolyse.

Par l'action combinée de l'électrolyse et de la chaleur dégagée par l'arc dans des fours électriques, on a pu obtenir toute une série de corps dont la préparation par d'autres méthodes est assez compliquée. On fabrique ainsi notamment du phosphore; on se propose de préparer du sulfure de carbone, etc., mais nous ignorons et les résultats industriels ont été favorables.

Dans les laboratoires, ces procédés viennent de permettre la fusion de la chaux et des matériaux réfractaires. Une série d'expériences entre prises au laboratoire de M. Violle au Conservatoire des Arts et Métiers par M. Moissan montrera bientôt toute une suite de réactions chimiques faites avec le concours de l'électricité.

Comme on le voit par le court exposé qui précède, si le progrès n'a pas été brusque, il n'en a pas moins été très réel.

P.-H. Ledeboer.

CHEMINS DE FER ET TRAMWAYS ÉLECTRIQUES [1].

L'armature A de la dynamo du locomoteur Siemens représentée par la figure 1 a les extrémités de ses pièces polaires $p\,p_1$, articulées en $q\,q_1$ et fixées en temps ordinaire aux noyaux $P\,P_1$ par des vis $S\,S_1$. On peut ainsi facilement accéder à l'armature et l'enlever, bien qu'elle soit entièrement entourée par les épanouissements polaires. L'armature et son essieu peuvent, en effet, facilement tomber d'entre les pôles $p\,p_1$, quand ils occupent, après l'enlèvement des vis $S\,S_1$, les positions indiquées en pointillé.

L'armature de la dynamo du locomoteur *Bassell* (Thomson-Houston) est (fig. 2 à 7) montée sur un arbre creux S enfilé sur l'essieu proprement dit A_1, et pourvu à ses extrémités (fig. 6 et 7) de tambours ou deux parties C C ayant chacune quatre ailettes R. Les moyeux des roues calées sur A_1 ont aussi chacun quatre ailettes R_2, et les ailettes R les entraînent par l'inter-

[1] *La Lumière Electrique* du 17 novembre 1892, p. 417

médiaire de blocs de caoutchouc R_3, tassés entre R et R_2.

L'armature F, à une seule bobine S_5, est enfilée sur les portées de S et suspendue en son centre de gravité L_2 aux balanciers $B_2 B_2$, par des menottes L L, qui en prennent presque toute la charge, puis, par O et les chandelles à ressorts S_4, à la traverse B_1, fixée elle-même aux balan-

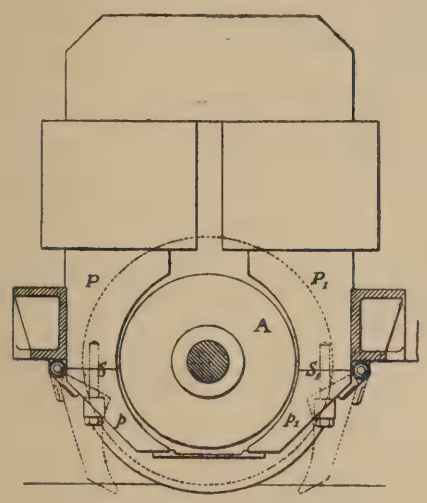


Fig. 1. — Siemens (1892). Armature à pôles articulés.

ciers $B_2 B_2$ suspendus au châssis par les ressorts $R_5 R_1$.

On voit que, par ce dispositif, l'armature, tout en étant enfilée sur l'essieu, en est néanmoins séparée, et ne l'attaque que par un intermédiaire élastique.

L'armature H du locomoteur *Coradson* est (fig. 8 à 10) calée sur une douille G, folle sur l'essieu F, et pourvue d'un pignon *d*, en prise avec les trois pignons N (fig. 10) fous sur leurs axes *f*, montés sur une étoile O M, calée sur l'essieu,

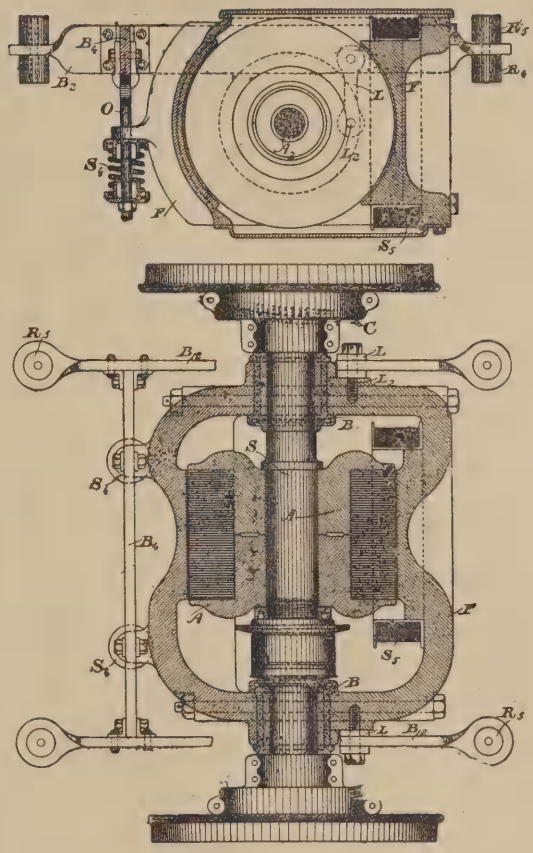


Fig. 2 et 3. — Bassett (1892). Dynamo directe.

et en prise eux-mêmes, d'autre part, avec la denture intérieure de l'embrayage P, fou sur son

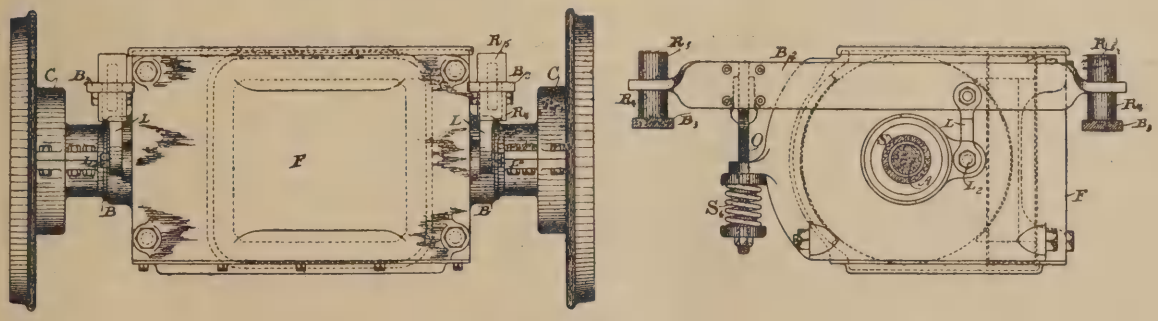


Fig. 4 et 5. — Bassett.

axe. Quand on excite l'électro-aimant S, il attire cet embrayage vers la droite de la figure 9, de manière à le caler sur l'étoile M, qui se trouve alors entraînée, et entraîne l'essieu, par *d* N P, comme si l'armature était calée directement sur l'essieu.

Lorsqu'on veut, au contraire, marcher à petite vitesse, comme au démarrage, on excite

l'électro R, de manière à embrayer P avec le cône fixe Q, de sorte que l'étoile M O entraîne

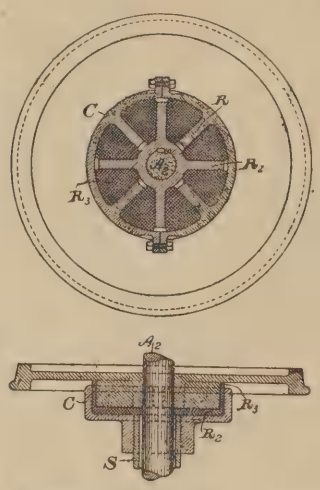


Fig. 6 et 7. — Bassett. Détail d'un accouplement de l'essieu.

l'essieu, par le roulement de ses pignons dans la denture P, avec une vitesse réduite dans le rapport $\frac{d}{P}$, d et P étant les diamètres de d et de P.

On voit, en figure 8, comment la majorité du poids de la dynamo est suspendu aux ressorts E qui la relient, par leurs chandelles D et leurs oreilles C, aux montants des châssis.

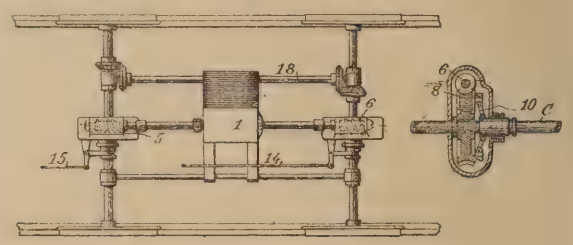


Fig. 11 et 12. — Soley. Transmission variable (1892).

La dynamo 1 du locomoteur *Soley* commande (fig. 11 et 12) ses essieux, conjugués par le train 18, tantôt par la vis sans fin 5, tantôt par la vis 6, suivant que l'on embraye avec son essieu C l'un ou l'autre des pignons hélicoïdaux 8 de ces vis. Cet embrayage se fait par le serrage des man-

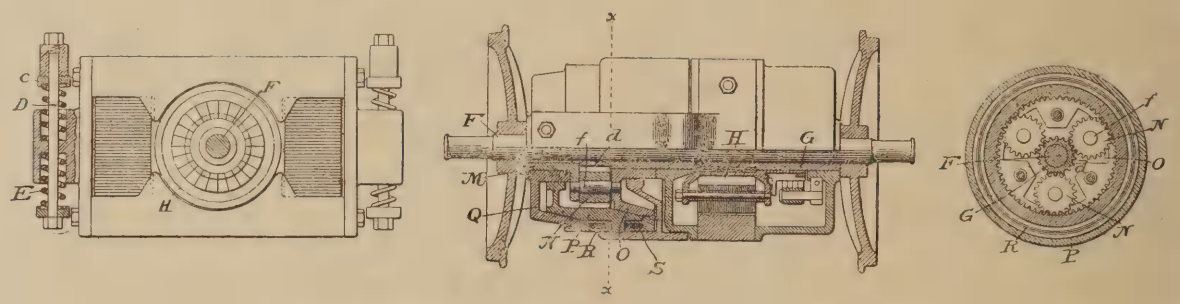


Fig. 8 à 10. — Coradson (1892). Dynamo directe à vitesses variables.

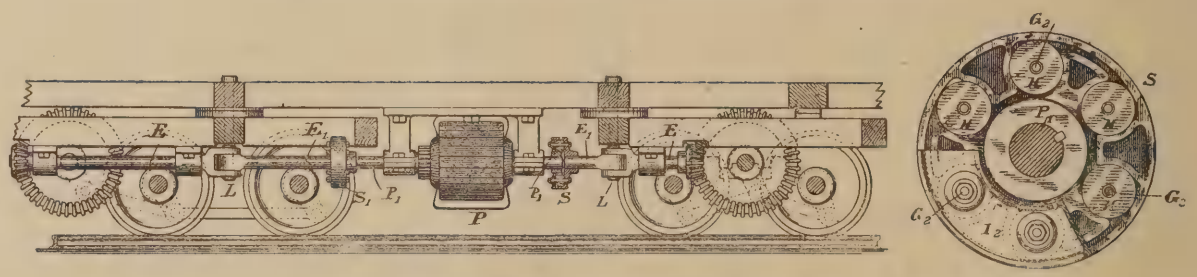


Fig. 13 et 14. Hunt. Transmission articulée (1892).

chons à friction 10 au moyen des tringles 14 et 15; et, comme l'un des pignons 10 a plus de dents que l'autre, on peut ainsi passer facilement du démarrage à la vitesse normale sans exiger de la dynamo de trop grandes variations d'allure ni un couple moteur exagéré. Les vis sans fin tournent dans des bains d'huile aussi abrités que possible des poussières.

M. Hunt emploie (fig. 13 et 14) pour relier l'arbre P_1 de sa dynamo à ceux E E des transmissions par engrenages suffisamment lisibles sur la figure, des articulations verticales L et

des manchons élastiques S S, représentés en détail par la figure 14. Ainsi qu'on le voit sur cette figure, chacun de ces accouplements se compose d'une étoile calée sur l'arbre P_1 et menant par ses quatre bras ceux du manchon S, calé sur l'arbre intermédiaire E_1, et cela non pas directement, mais par l'intermédiaire des caoutchoucs cylin-

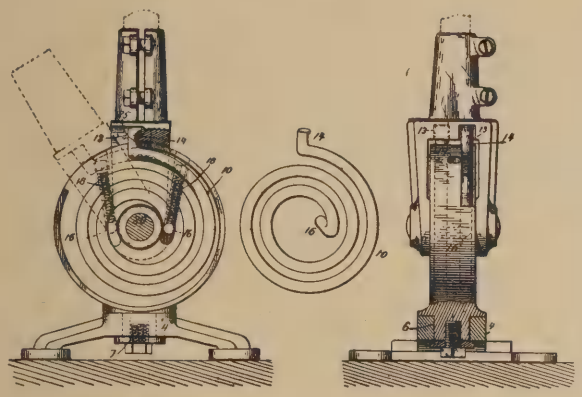


Fig. 15 et 16. — Trolly Hunt (1892).

driques H, retenus par les boulons G_2. On obtient ainsi une transmission assez compliquée, mais qui rend le fonctionnement des engrenages tout à fait indépendant des inégalités de la voie.

La monture du bras du trolly de *M. Hunt* est (fig. 15 et 16) remarquable par sa solidité et sa simplicité. Le bras est maintenu vertical par la tension de deux ressorts en spirale 10, dissymétriques, enroulés en sens contraire, calés en 16 par leurs vis de réglage 18. L'étrier du bras

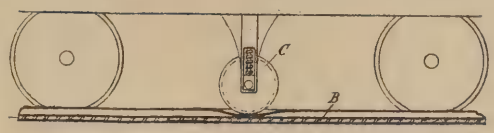


Fig. 17. — Booth. Voie souterraine.

porte deux talons 13, dont l'un courbe et tend le ressort de droite et l'autre le ressort de gauche, quand le bras s'incline. L'ensemble du bras et

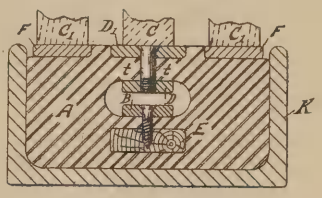


Fig. 18. — Booth. Détail du tube.

de sa monture peut librement pivoter autour de l'axe G, assujetti par un boulon 7 au socle 4.

Le conducteur souterrain de *M. Booth* se trouve logé en B (fig. 17 et 18) dans un tube de caoutchouc A, protégé par les armures K et F,

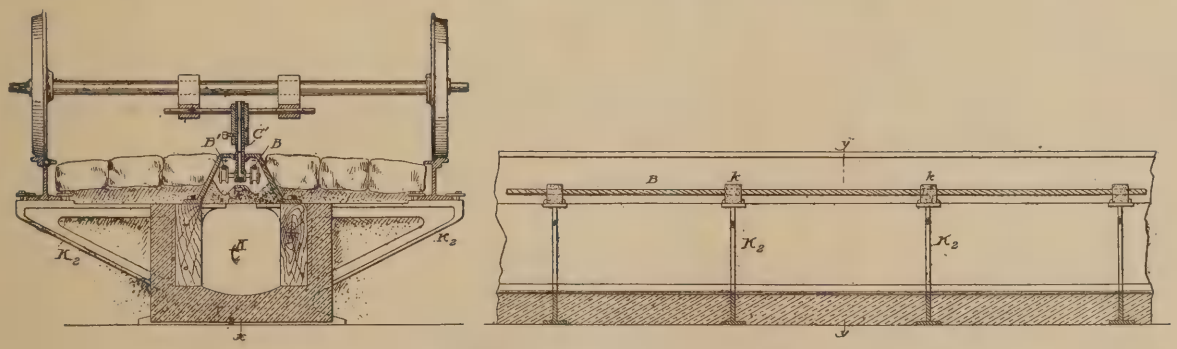


Fig. 19 et 20. — Hunter. Voie souterraine (1892).

et la prise de contact s'opère par la pression du galet C sur le rail flexible D_1, qui amène le conducteur D au contact du B, à mesure du passage du locomoteur. Le galet C est guidé sur le caoutchouc par ses deux portées latérales en bois C' C'.

Les câbles flexibles B B' de la canalisation souterraine de *Hunter* (Compagnie Thomson-Houston) reposent (fig. 19 et 20) tout à fait à l'abri sur les isolants *k*, et sont soulevés au passage du locomoteur par les galets du bras C'. Le tout repose au-dessus d'un large caniveau en maçonnerie K, évacuant à l'égout les boues et les poussières, et solidement armé à intervalles réguliers par des châssis en fonte K_2.

Le tramway électrique de *M. Riker* appartient à la classe déjà nombreuse des types à circuits électromagnétiques fermés.

Le conducteur B est (fig. 21 à 24) posé dans un conduit isolant *a a*, enfermé dans une série de sections en fonte A A, imbriquées dans un

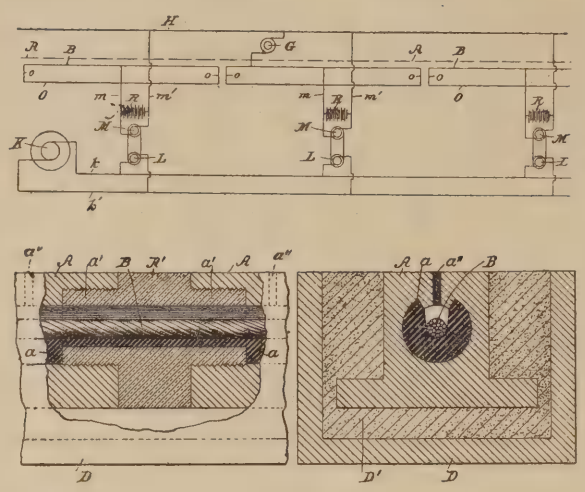


Fig. 21 à 23. — Riker. Tramway sectionné (1892).

caniveau de maçonnerie et ciment D D′, et réunies entre elles par des assemblages en bronze A′.

Le locomoteur porte deux électro-aimants E E, à pôles N et S, en forme de galets, qui roulent sur les sections A. Ces galets sont assez espacés pour embrasser entre leurs extrêmes un peu moins de trois sections. Au passage, les électros soulèvent le conducteur en fer B, et l'appliquant sous les sections A, sur lesquelles le cou-

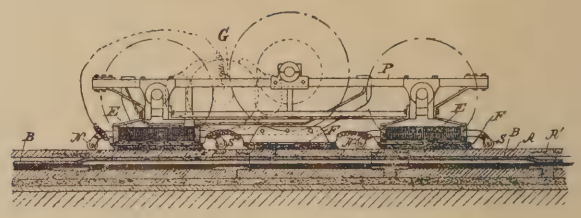


Fig. 24. — Tramway sectionné (1892).

rant est recueilli par les balais F F. Des fiches en cuivre *a″* achèvent d'assurer la liaison électrique de B avec les balais F en raison de leur grande conductibilité.

Ainsi qu'on le voit par la figure 21, le conducteur B est alimenté, non pas directement par

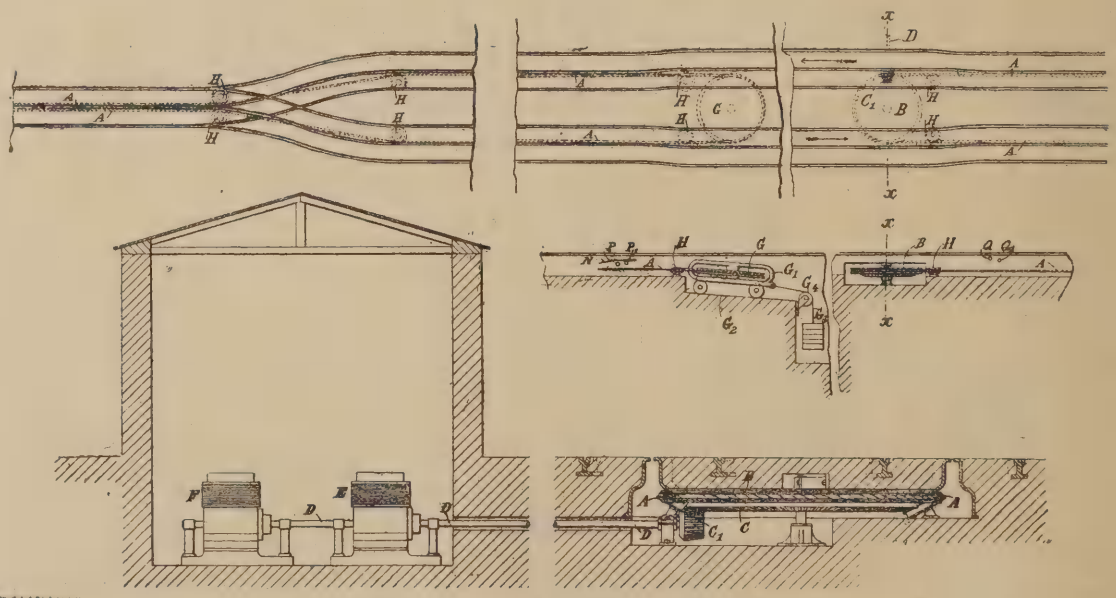


Fig. 25 à 27. — Bair. Tramway câblo-électrique (1891).

la dynamo à haute tension K, mais par des transformateurs moteurs L M; les moteurs L recevant les courants à haute tension de *k* et les transformant par les génératrices secondaires M, en courants de basse tension ,reliés par *m m′* aux circuits d'aller O et de retour H, et régularisés par les accumulateurs R

Le circuit d'aller O est divisé en autant de sections qu'il y a de sous-stations ou de transformateurs L M, reliés par *o o* au conducteur B; tant qu'il n'y a pas de locomoteur G dans une sous-station desservie par un transformateur, son circuit reste ouvert; il faut, pour le fermer, que le conducteur B fasse contact avec les sec-

tions A, sur lesquelles passent les balais du locomoteur.

M. Martin Bair a récemment proposé d'appliquer l'électricité à la traction des tramways sous une forme assez inattendue : l'actionnement de leurs câbles par des moteurs électriques disposés le long du trajet, ce qui permet de diviser ces câbles en sections disposées de manière à éviter les complications et les résistances mécaniques provenant de l'emploi de très longs câbles à renvois multiples et tourmentés, devant

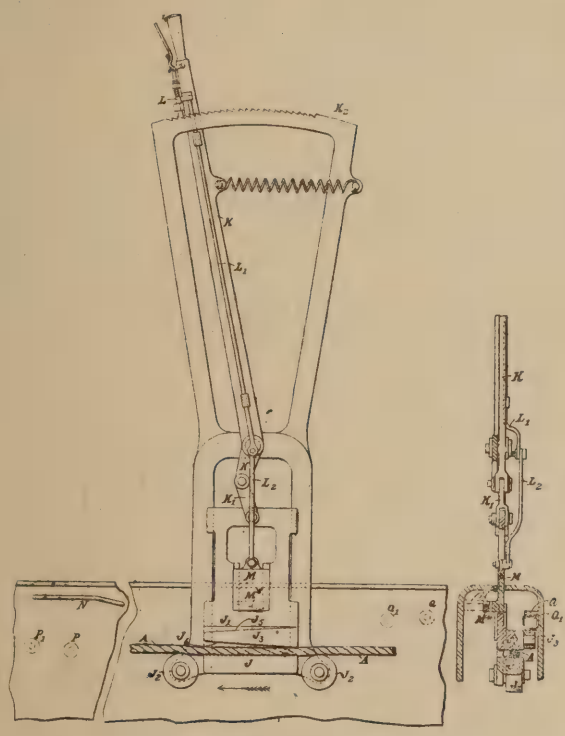


Fig. 28 et 29. — Bair. Détail du grip.

pouvoir subir des efforts beaucoup plus considérables que ceux des câbles sectionnés, proportionnés chacun au travail propre de sa section.

Ainsi qu'on le voit par les figures 25 à 27, chacune des sections est composée d'un câble sans fin A, avec poulie motrice B, mue par des dynamos E F et leur transmission D *cc'*, et de sa poulie de renvoi G sur chariot tendeur à contrepoids. Dans chaque section, la grosseur du câble pourra être exactement proportionnée au trafic de cette section ainsi que sa longueur.

Pour passer d'une section à l'autre, il faut lâcher le câble de la première, puis saisir aussitôt celui de la section suivante; cette opération s'effectue automatiquement au moyen de la pince ou *grip* représentée par les figures 28 et 29. En marche sur une section, les différentes parties du grip occupent les positions figurées, de manière que le câble A est saisi entre la mâchoire fixe inférieure J du grip et la mâchoire supérieure J_3 appuyée par le levier K, enclenché en L sur K_2, et son genou K K'. Vers la fin d'une section, la glissière M rencontre d'abord un taquet incliné M^x du tube dans lequel se meut le câble, qui repousse M, et sa tige L_1 de manière à déclencher L, puis le plan incliné j_1 de J_3 rencontre les galets fixes P P, qui relèvent ainsi la mâchoire J' et desserrent le grip, de manière à laisser le train s'en-

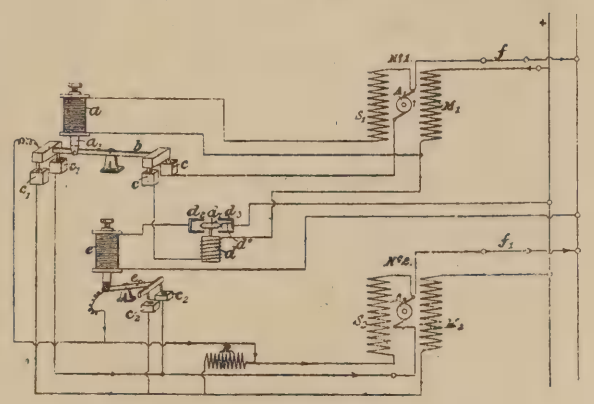


Fig. 30. — Bair. Schéma des circuits.

gager par sa force vive seule dans la seconde section. Dès l'entrée dans cette section, le plan incliné J_5 rencontre une autre paire de galets Q Q', qui, au contraire, abaissent la mâchoire J' et la serrent automatiquement, en même temps que L fixe ce serrage par son renclenchement en K_2. Les galets J_2 J_2 ménagent le câble en l'empêchant de frotter sur J pendant sa mise en liberté.

Chaque station a deux moteurs E et F, enroulés en compound pour vitesse constante, dont le travail se proportionne ainsi automatiquement à la charge de la section entre certaines limites. En temps ordinaire, un seul moteur suffit, mais, au-delà d'une certaine charge, le second moteur s'accouple automatiquement au premier au moyen du commutateur représenté en figure 30.

On a indiqué, sur cette figure, en A_1 et A_2 les deux moteurs, avec leurs inducteurs en série M_1 M_2 et en dérivation $s_1 s_2$. En marche normale du moteur A_1. il passe dans la bobine *d*. à gros

fil, en série avec ce moteur, un courant suffisant pour maintenir son armature d^1, malgré son ressort, comme l'indique la figure 30, dans sa position neutre, entre les contacts d_2 et d_3. Dès que l'intensité augmente en A_1 d'une façon dangereuse, d_1 s'abaisse et ferme le circuit de c, lequel introduit aussitôt, par c_1 et les mercures c_2, c_3, le deuxième moteur A^3 dans le circuit. Comme l'intensité du courant en A_1 et en d diminue, de ce fait, presque de moitié, le solénoïde d et son contact d_1 doivent être disposés de façon qu'une fois abaissé il ne puisse rompre son contact qu'à la suite d'une diminution considérable de l'intensité. On atteint ce résultat au moyen d'un ressort d^r qui maintient l'armature d_1 abaissée jusqu'à ce que l'intensité ait diminué en d assez pour que le rappel de d puisse repousser ce ressort, qui n'offre, au contraire, qu'une faible résistance à la descente de d_1. Si le moteur A vient à manquer, le solénoïde a, relié à sa dérivation S_1, lâche son armature a_1, de manière que b mette par les mercures $c_1 c_1$ le moteur A_2 en circuit et sépare le moteur A_1 du circuit par les mercures $c\,c$; en même temps l'armature e_1 de e ferme en c_3 c_3 le circuit de A_2.

GUSTAVE RICHARD.

NOUVELLE LOI

D'INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE

Notes extraites du cours de M. Poincaré.

1. — Dans ce semestre, M. Poincaré étudie les oscillations hertziennes, en partant des formules dans lesquelles M. Hertz [1] a condensé celles de Maxwell. Dans ces formules figurent les *courants de déplacement* qui jettent le trouble et le doute dans l'esprit, parce qu'ils ne représentent pas une notion expérimentale. Le but de cet article est de montrer que leur introduction peut être regardée comme un artifice de calcul dont l'effet est de tenir compte de la *durée de propagation* de l'induction dans le diélectrique.

[1] *Archives des sciences physiques et naturelles*; t. XXIV, juillet 1890.

2. — Le problème traité par M. Poincaré peut s'énoncer ainsi : *Un conducteur, ou système de conducteurs, est chargé statiquement. Brusquement on le décharge. Il s'établit un système de courants variables, fermés ou non; c'est la décharge oscillante des expériences de M. Hertz. On suppose connue la loi des courants qui en résultent sur la surface des conducteurs et l'on se propose de calculer le champ électromagnétique créé par ces courants variables, mais connus en fonction du temps.*

Dans les idées de Maxwell, pour calculer le potentiel vecteur électromagnétique en un point du diélectrique, il faudrait tenir compte non-seulement des courants de conduction, mais aussi des courants de déplacement par lesquels il imagine que les premiers sont complétés. Dans ce calcul, on ne tient pas compte de la durée de propagation de l'induction électromagnétique.

M. Poincaré montre qu'on satisfait aussi bien aux équations du champ, telles que les écrivent Maxwell et M. Hertz, en faisant entrer dans le calcul les seuls courants de conduction, mais en tenant compte de la durée de propagation de l'induction.

3. — Voici son analyse. Les équations du champ sont, avec les notations et les unités de M. Hertz :

$$\begin{aligned} A\frac{dL}{dt} &= \frac{dZ}{dy} - \frac{dY}{dz}, \\ A\frac{dM}{dt} &= \frac{dX}{dz} - \frac{dZ}{dx}, \\ A\frac{dN}{dt} &= \frac{dY}{dx} - \frac{dX}{dy}, \end{aligned} \qquad (1)$$

$$\begin{aligned} A\frac{dX}{dt} &= -\frac{dN}{dy} + \frac{dM}{dz} - 4\pi A u, \\ A\frac{dY}{dt} &= -\frac{dL}{dz} + \frac{dN}{dt} - 4\pi A v, \\ A\frac{dZ}{dt} &= -\frac{dM}{dx} + \frac{dL}{dy} - 4\pi A w. \end{aligned} \qquad (2)$$

A représente l'inverse de la vitesse de propagation de la lumière, qui est aussi celle des vibrations électriques ; X, Y, Z sont les trois composantes rectangulaires de la *force électrique* ; L, M, N celles de la force magnétique ; u, v, w celles du courant de conduction ; x, y, z sont les coordonnées du point d'application de ces trois vecteurs. D'après l'énoncé (n° 2), u, v, w sont connus en fonction du temps t et des coordonnées

UNIVERSITY LIBRARY ILLINOIS

x, y, z du point considéré de l'espace; on cherche à calculer X, Y, Z; L, M, N en fonction de x, y, z, t et des u, v, w. Ce sont donc les six équations (1) et (2) qu'il s'agit d'intégrer, connaissant les trois fonctions u, v, w qui définissent les courants. On le sait, ceux-ci n'existent qu'à la surface des conducteurs [1]. Ils sont nuls dans le diélectrique et à l'intérieur des conducteurs, dès qu'on y pénètre d'une quantité très petite [2]. Ils sont très grands sur la surface même des conducteurs. On peut démontrer que, dans ces conditions, L et K sont aussi nuls à l'intérieur des conducteurs. C'est grâce à ces particularités qu'on peut, sans erreur sensible, étendre les formules (1) et (2) à tout l'espace, y compris l'intérieur des conducteurs. S'il n'en était pas ainsi, il faudrait modifier comme on sait les équations (1) et (2) pour ces corps.

4. — Pour intégrer le système (1), (2), je prends pour inconnue principale le vecteur auxiliaire ξ, η, ζ défini par les égalités

$$\begin{aligned} L &= \frac{d\zeta}{dy} - \frac{d\eta}{dz}, \\ M &= \frac{d\xi}{dz} - \frac{d\zeta}{dx}, \\ N &= \frac{d\eta}{dx} - \frac{d\xi}{dy}. \end{aligned} \tag{3}$$

Je porte ces valeurs dans les équations (1) et (2). Les premières équations de ces deux groupes deviennent respectivement

$$A\left[\frac{d^2\zeta}{dy\,dt} - \frac{d^2\eta}{dz\,dt}\right] = \frac{dZ}{dy} - \frac{dY}{dz} \tag{1'}$$

$$A\frac{dX}{dt} = -4\pi Au + \Delta\xi - \frac{d\theta}{dx}, \tag{2'}$$

où Δ représente le symbole $\frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} + \frac{d^2}{dz^2}$ et où l'on a posé $\theta = \frac{d\xi}{dx} + \frac{d\eta}{dy} + \frac{d\zeta}{dy}$.

L'équation (1') s'écrit

$$\frac{d}{dy}\left(Z - A\frac{d\zeta}{dt}\right) - \frac{d}{dz}\left(Y - A\frac{d\eta}{dt}\right) = 0. \tag{1''}$$

Cette équation, jointe aux deux qui s'en déduisent par permutations, montre que les deux vecteurs (X, Y, Z) et $A\frac{d}{dt}(\xi, \eta, \zeta)$ ne diffèrent que par un vecteur qui dérive d'un certain potentiel φ. Comme le vecteur (ξ, η, ζ) est un vecteur auxiliaire, rien n'empêche de le choisir arbitrairement, pourvu qu'il satisfasse aux équations (3); on pourrait donc, si l'on voulait, le choisir de façon que le potentiel φ fût nul. Laissons cependant cette fonction φ. Nous pourrons profiter ensuite du choix de cette fonction indéterminée pour simplifier les calculs. Nous aurons ainsi, à la place des équations (1), celles-ci :

$$\begin{aligned} X &= A\frac{d\xi}{dt} + \frac{d\varphi}{dx}, \\ Y &= A\frac{d\eta}{dt} + \frac{d\varphi}{dy}, \\ Z &= A\frac{d\zeta}{dt} + \frac{d\varphi}{dz}. \end{aligned} \tag{I}$$

Je porte la première de ces valeurs dans l'équation (2'), et j'obtiens, pour remplacer, cette équation :

$$A^2\frac{d^2\xi}{dt^2} + A\frac{d^2\varphi}{dx\,dt} = \Delta\xi - \frac{d\theta}{dx} - 4\pi Au \tag{2''}$$

Je peux profiter de l'indétermination de φ pour poser

$$A\frac{d\varphi}{dt} = -\theta. \tag{4}$$

L'équation (2'') se simplifie alors par la réduction de deux de ses termes et devient

$$A^2\frac{d^2\xi}{dt^2} = \Delta\xi - 4\pi Au. \tag{II}$$

Le problème se réduit maintenant à intégrer l'équation (II) et les deux équations qu'on en déduit par permutation. On connaîtra ainsi ξ, par exemple, en fonction de t, x, y, z par le moyen de la fonction donnée u de ces variables. Connaissant ξ, η, ζ on en déduit θ; puis φ par la formule (4) au moyen d'une simple quadrature. Les formules (I) et (3) font alors connaître (X, Y, Z) et (L, M, N). Le champ est ainsi entièrement connu.

5. — Occupons-nous donc de l'équation

$$A^2\frac{d^2\xi}{dt^2} = \Delta\xi - 4\pi Au. \tag{II}$$

C'est elle qui renferme les importants résultats annoncés aux nos 1 et 2. Elle montre que ξ dépend seulement de u. Les courants de déplacement $\frac{dX}{dt}$ qui figuraient dans l'équation (2) ne

[1] Bjerknes. *La Lumière Electrique*, t. XLVI, p. 285 et 495.

[2] D'après les notes citées, ils disparaissent à moins de 0,01 mm. d'épaisseur.

figurent plus dans l'équation (II) qui la remplace. De plus, si l'on fait abstraction du terme $A^2 \frac{d^2 \xi}{d t^2}$, l'équation se réduit à l'équation de Poisson

$$\Delta \xi = 4 \pi A u. \qquad \text{(II')}$$

On le sait, l'intégrale de cette équation réduite est le potentiel dû à une masse attirante de densité — $A u$. Elle a pour expression

$$\xi = - A \int \frac{u' \, d \tau'}{r} \qquad \text{(III')}$$

u' étant la valeur du courant dans l'élément de volume $d\tau'$ et r la distance de l'élément $d\tau'$ au point (x, y, z).

On reconnaît dans cette expression de ξ la forme de la première composante du potentiel vecteur de Maxwell. Il y a cependant une différence essentielle. Alors que dans notre formule (III'), u' représente le seul courant de conduction, dans celle de Maxwell il faut mettre le courant total, c'est-à-dire la somme du courant de conduction et du courant de déplacement.

Ce résultat de Maxwell se trouve d'ailleurs dans l'équation (II). Il suffit d'y remplacer $A^2 \frac{d^2 \xi}{d t^2}$ par la valeur tirée de (I), en posant, avec Maxwell, $\theta = 0$. L'équation (4) donne alors $\frac{d^2 \varphi}{dx \, dt} = 0$; la première des équations (I) donne en conséquence

$$A^2 \frac{d^2 \xi}{d t^2} = A \frac{d X}{d t}.$$

L'équation (II) s'écrit alors

$$\Delta \xi = A \frac{d X}{dt} + 4 \pi A u. \qquad \text{(II'')}$$

De (II'), on passe à cette équation (II'') en remplaçant le courant de conduction par la somme des courants de conduction et de déplacement.

On voit donc que l'équation (II) conduit à la solution de Maxwell, qui est celle de l'équation (II'').

Il faut remarquer que cette solution de Maxwell est plus restreinte que celle de nos équations, à cause de la condition restrictive $\theta = 0$. Mais la forme (II), introduite par M. Poincaré, présente sur la forme (II'') de Maxwell cette supériorité de se prêter à une interprétation plus satisfaisante à nos yeux.

6. — La forme (II'') fait intervenir les courants de déplacement $\frac{d X}{d t}$ *au même titre* que les courants de conduction u. Or rien n'est plus différent; le courant de conduction se manifeste par une foule de propriétés physiques, et aucune d'elles n'appartient au courant de déplacement, dont l'origine est de pure abstraction mathématique. L'équation (II), au contraire, remplaçant $A \frac{d X}{d t}$ par $A^2 \frac{d^2 \xi}{d t^2}$, fait en quelque sorte changer ce terme de camp. Ce n'est plus au courant u qu'elle le rattache, mais au potentiel vecteur ξ. Il n'entre plus dans la cause déterminante du champ; la forme $A^2 \frac{d^2 \xi}{d t^2}$ le fait au contraire rentrer dans le mécanisme de la propagation de l'effet à travers le diélectrique. C'est ce qui ressortira nettement de l'intégration, mais il importait de le faire observer dès maintenant, parce que l'intégration de l'équation (II) est rendue intuitive par l'idée de tenir compte de la durée de propagation de l'induction électromagnétique, le problème étant rendu identique à celui de la propagation de la lumière.

Soit $u' = f(x', y', z', t)$ la première composante du courant qui existe à l'époque t au point x', y', z' situé à la distance r du point considéré x, y, z où règne le potentiel vecteur ξ, η, ζ. L'action du courant u' sur le point x, y, z ne se fait sentir qu'à l'époque $t + Ar$, Ar étant le temps qu'il faut à la lumière, et aussi à l'induction, pour parcourir la distance r. Inversement, à l'époque t, le point x, y, z reçoit l'action émanée du courant à l'époque $t - Ar$, savoir

$$u'_1 = f(x', y', z', t - Ar).$$

On est donc conduit à penser que l'équation (II) admet pour intégrale

$$\xi_1 = - A \int \frac{u'_1 \, d \tau'}{r}. \qquad \text{(III)}$$

8. — C'est ce que nous allons vérifier en portant cette valeur de ξ_1 dans l'équation

$$A^2 \frac{d^2 \xi_1}{d t^2} = \Delta \xi_1 - 4 \pi A u. \qquad \text{(II)}$$

Calculons les valeurs que prennent les termes de cette équation. On aura d'abord

$$A^2 \frac{d^2 \xi_1}{d t^2} = - A^3 \int \frac{d^2 u'_1}{d t^2} \cdot \frac{d \tau'}{r}. \qquad (\alpha)$$

Pour calculer $\Delta \xi$, je ne peux pas dériver sous le signe $\int$ le second membre de la formule (III), parce que l'élément de l'intégrale devient infini pour $r = 0$. On tourne la difficulté en posant

$$\xi_1 = \xi + (\xi_1 - \xi) = -A \int \frac{u' \, d\tau'}{r} - A \int \frac{(u'_1 - u') \, d\tau'}{r},$$

d'où

$$\Delta \xi_1 = \Delta \xi + \Delta (\xi_1 - \xi).$$

Or, on sait que l'on a

$$\Delta \xi = + 4 \pi A u. \qquad \text{(Équation de Poisson).}$$

De plus

$$u'_1 - u' = f(t - Ar) - f(t)$$

étant au moins du premier ordre par rapport à r $\frac{u'_1 - u'}{r}$ ne devient plus infini pour $r = 0$. On peut alors différencier sous le signe $\int$, et on a

$$\Delta (\xi_1 - \xi) = -A \int \Delta \frac{u'_1 - u'}{r} . d\tau'.$$

En faisant le calcul, on trouve

$$\Delta \left(\frac{u'}{r}\right) = 0, \qquad \Delta \left(\frac{u'_1}{r}\right) = \Delta \frac{f(t - Ar)}{r} = \frac{A^2}{r} \frac{d^2 f}{d t^2};$$

par suite

$$\Delta (\xi_1 - \xi) = -A^3 \int \frac{d^2 u'_1}{d t^2} \frac{d\tau'}{r}.$$

Des valeurs qu'on vient de trouver pour $\Delta \xi$ et $\Delta (\xi_1 - \xi)$, on déduit pour celle de $\Delta \xi_1$,

$$\Delta \xi_1 = 4 \pi A u - A^3 \int \frac{d^2 u'_1}{d t^2} \frac{d\tau'}{r}. \qquad (\beta)$$

Enfin, si l'on porte les valeurs (α) et (β) dans l'équation (II), on constate qu'elle est identiquement satisfaite.

9. — Le succès de l'intégrale (III) du n° 7 montre bien que le terme $A^2 \frac{d^2 \xi}{d t^2}$ de l'équation différentielle (II) a pour effet de tenir compte de la durée de propagation de l'induction électromagnétique.

Il importe de remarquer que cette manière de voir, nouvelle et si satisfaisante, exige que l'on modifie la loi d'induction des courants comme il suit :

Soit ds un élément de fil conducteur, ds' un autre élément situé à la distance r du premier et faisant avec lui l'angle ε. Ce second élément est parcouru par un courant variable, mais connu, $i' = f(t)$. Quelle doit être la loi de l'induction de cet élément de courant sur l'élément ds? Jusqu'ici, on a admis que la force électromotrice qui s'exerce, à l'époque t, sur l'élément ds est

$$\frac{d f(t)}{dt} \frac{ds \, ds' \cos \varepsilon}{r}.$$

De plus, Maxwell admet que les courants de déplacement agissent comme les courants de conduction.

Dans les idées de M. Poincaré, la force électromotrice serait représentée par la formule bien plus logique

$$\frac{d f(t - Ar)}{dt} \frac{ds \, ds' \cos \varepsilon}{r}.$$

C'est l'interprétation de la formule (III). La loi est la même, mais au lieu d'admettre que l'action du courant $i' \, ds'$ se fait sentir instantanément dans toutes les parties de l'espace, on admet au contraire que cette action se propage avec la vitesse de la lumière. D'autre part, on ne fait pas intervenir les courants de déplacement. Il y aurait lieu de les supprimer purement et simplement, ou tout au moins de les considérer comme un élément artificiel de calcul ayant pour objet de tenir compte de la durée de propagation de l'induction.

Ces considérations nous paraissent réaliser un grand progrès dans la théorie de l'électricité, en l'éclairant sur un point qui restait obscur, sinon inacceptable. Elles me semblent aussi rapprocher d'une façon séduisante la théorie électromagnétique de la lumière de la théorie élastique.

E. Carvallo.

RECHERCHES RÉCENTES

SUR LA MESURE DES TEMPÉRATURES

PAR LES PROCÉDÉS ÉLECTRIQUES

Dans une série d'articles très remarqués, publiés dans ce journal [1], M. C.-E. Guillaume a résumé et discuté les travaux entrepris avant

[1] *La Lumière Electrique*, t. XXVIII, p. 201, 312, 409, 454, 566, 601.

1888 dans le but de mesurer les températures à l'aide des procédés électriques. Depuis cette époque, M. H.-L. Callendar a continué ses recherches sur la mesure des hautes températures par la variation de la résistance du platine; MM. Cailletet et Colardeau se sont occupés des basses températures; MM. Chassagny et Abraham ont montré que la mesure des petits intervalles de température peut s'effectuer avec précision au moyen des couples thermo-électriques; enfin, plus récemment, M. C. Barus a fait voir que l'application des couples à la mesure des hautes températures donne des résultats très satisfaisants.

NOUVELLES RECHERCHES DE M. CALLENDAR

Les recherches antérieures à 1888 avaient établi les points suivants [1] :

1° Un fil de platine pur, recuit pendant deux heures à la température de 1200°, possède pour toute température comprise entre 0° et 650° une résistance pratiquement constante, les valeurs trouvées pour cette résistance ne différant pas entre elles de plus de 1/5000, quels que soient les échauffements et refroidissements qu'on ait fait subir au fil;

2° Dans cet intervalle de température, cette résistance peut être représentée, en fonction de la température normale T du thermomètre à air, par la formule parabolique

$$R_T = R_0 (1 + \alpha T + \beta T^2), \qquad (1)$$

où

$$\alpha = + 0{,}003448, \qquad \beta = - 0{,}000000533.$$

Il résulte de ces nombres que la température t de l'échelle thermométrique fournie pour la résistance du platine, c'est-à-dire définie par la formule,

$$t = 100 \frac{R_T - R_0}{R_{100} - R_0}, \qquad (2)$$

présente, sur la température de l'échelle normale, un excès $t - T$ ayant pour expression

$$t - T = 1{,}57\, T (100 - T)\, 10^{-4}. \qquad (3)$$

3° Les températures indiquées par les résistances des trois fils de platine placés dans la même enceinte diffèrent entre elles de 1°,14 au plus pour les températures vraies voisines de 600°; entre 0 et 100°, les différences ne sont que de quelques centièmes de degré.

Du premier résultat découle cette conséquence que les indications données à diverses époques par un thermomètre à résistance de platine sont comparables entre elles; du troisième, que des thermomètres de ce genre construits avec divers échantillons de platine pur recuit sont comparables avec une très grande approximation entre 0 et 100° et avec une approximation moindre, mais suffisante en pratique, aux températures élevées.

Dans un travail ultérieur [1], M. Callendar a apporté quelques modifications à l'appareil employé pour la mesure des résistances. La description de cet appareil ayant été donnée dans ce journal [2], nous rappellerons seulement le schéma des communications (fig. 1).

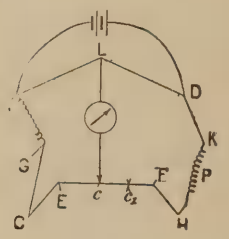


Fig. 1

Les mesures s'effectuent au moyen du pont de Wheatstone. Les deux branches L A et L D ont la même résistance. Le fil de platine est représenté en P; les conducteurs servant à l'intercaler dans le pont sont représentés en H F et K D. Ce fil est placé au fond d'un cylindre en verre ou en porcelaine plongé en partie dans l'enceinte dont on veut la température, et suffisamment long pour qu'à la sortie de ce tube la température des conducteurs de raccordement H F et K D soit celle de l'air ambiant. Dans ce même tube et parallèlement à ces conducteurs sont placés deux conducteurs identiques représentés en C G et C E dans le diagramme. A G est une résistance variable qui sert à équilibrer le pont quand la résistance de platine est main-

(1) *La Lumière Electrique*, t. XXVIII, p. 454.

(1) *Proceedings of the Royal Society*, 1890, p. 220; *Philosophical Magazine*, t. XXXII, p. 104, 1891.

(2) *La Lumière Electrique*, t. XLIV, p. 73, 9 avril 1892.

tenue à 0°, le galvanomètre étant relié au milieu c de la résistance EF ; cette résistance AG est alors égale à celle du platine à 0°. Lorsque le fil de platine est porté à une autre température, il faut, pour équilibrer le pont, amener le fil d'attache du galvanomètre en c_1 ; comme par suite de la disposition expérimentale les résistances des fils de raccordement HF et KD sont toujours compensées par les résistances CE et CG placées dans l'autre branche du pont, il est évident que $c\ c_1$ est égal à la moitié de la variation de la résistance du fil de platine.

La lecture de cette variation se fait ainsi directement et la température t s'en déduit par la relation (2). D'ailleurs, il est facile, puisque cette température est proportionnelle à la variation de résistance, de tracer sur une règle placée devant le curseur c une graduation telle que la valeur de t se trouve immédiatement indiquée par la position du curseur. C'est ce qu'a fait M. Callendar dans le but de rendre plus rapides les mesures de température.

La précision des mesures dépend principalement de la sensibilité du galvanomètre et de l'amplification de ses déplacements. Avec le galvanomètre qu'il emploie, M. Callendar estime que jusqu'à 1000° on peut compter dans les mesures sur une approximation plus grande que le 1/10 de degré.

M. Callendar s'est également occupé de la comparabilité des mesures faites avec plusieurs instruments; il a constaté que jusqu'à 1300° les indications de ces instruments ne différaient pas de plus de 1/10 de degré.

Récemment [1], M. Callendar a appliqué son appareil à la détermination des points de solidification de l'argent et de l'or. Il a constaté que le point de solidification de l'argent se trouve considérablement abaissé par l'addition d'une quantité très petite de plomb et que celui de l'argent pur dépend de la quantité d'oxygène dissous par le métal fondu. De nombreuses expériences ont été faites; comme elles sortent du cadre de notre sujet, nous n'y insisterons pas.

Retenons seulement les résultats trouvés pour l'argent et l'or purs, leur comparaison avec les résultats connus pouvant nous renseigner sur la valeur de l'application de l'appareil de M. Callendar à la mesure des très hautes températures.

[1] *Philosophical Magazine*, t. XXXIII, p. 220, 1892.

En effectuant la fusion de l'argent à l'aide du chalumeau à gaz et à oxygène, en donnant un léger excès de gaz afin de maintenir l'atmosphère réductrice et empêcher l'occlusion de l'oxygène par le métal, M. Callendar a trouvé que la solidification s'effectuait à 830° de l'échelle thermométrique fournie par la variation de résistance du platine.

La température normale correspondante, calculée par la formule (3) est 981°,6 C. Ce nombre est de beaucoup supérieur au nombre 942 obtenu par Deville et Troost comme moyenne de vingt-sept déterminations faites au moyen du thermomètre à air, et du nombre 954 trouvé par M. Violle par la méthode calorimétrique. La relation (3), établie expérimentalement par des mesures faites entre 0° et 600°, n'est donc pas exacte dans le voisinage de 900°.

M. Callendar a essayé de relier la température de fusion de l'argent aux températures inférieures à 600° en remplaçant le coefficient 1,57 de la formule (3) par un coefficient de la forme $a + b\,T$.

En prenant pour point de fusion de l'argent la température 945° C, adoptée par M. Le Chatelier dans la graduation de ses couples thermoélectriques, il a constaté que le but était atteint avec $a = 2{,}050$ et $b = -0{,}00065$. Si on applique la nouvelle formule au calcul de la température de fusion de l'or, dans l'échelle normale, en y faisant $t = 901°{,}9$, nombre donné par le pyromètre à résistance, on trouve $T = 1037°$, température peu différente de celle qui est adoptée depuis les travaux de M. Violle (1045°); M. Callendar pense d'ailleurs que les expériences de M. Violle conduisent à des valeurs trop élevées pour les points de fusion des métaux et que le nombre 1037 est plus approché du nombre exact.

Quoi qu'il en soit de l'exactitude de cette opinion, il n'en est pas moins prouvé que la formule (3) ne doit pas être appliquée au-delà de 650°; quant à la formule modifiée proposée en dernier lieu, elle ne saurait être adoptée avant que de nouvelles et nombreuses vérifications en aient démontré la justesse pour les températures très élevées.

L'appareil de M. Callendar ne peut donc, malgré sa grande sensibilité, donner encore des mesures suffisamment précises de ces températures.

EXPÉRIENCES DE MM. CAILLETET ET COLARDEAU

On sait qu'aux températures moyennes les divergences entre l'échelle thermométrique fournie par la variation de pression de l'hydrogène à volume constant et l'échelle thermodynamique sont si faibles que jusqu'ici on n'a pu reconnaître le sens de l'écart, et il paraît probable qu'aux températures élevées les divergences sont suffisamment petites pour qu'on puisse les négliger. Il est donc légitime d'adopter comme échelle thermométrique normale, pour les températures supérieures à 0° et les températures négatives voisines de 0, celle du thermomètre à hydrogène à volume constant.

Mais en est-il encore ainsi pour les très basses températures réalisées dans les expériences sur la liquéfaction et la solidification des gaz? Il est probable que l'hydrogène en se rapprochant de son point critique de liquéfaction doit, comme tous les autres gaz, éprouver des modifications dans ses propriétés physiques. Par suite, ses indications thermométriques doivent cesser de concorder avec l'échelle thermodynamique et deviennent tout aussi arbitraires que celles fournies par n'importe quel autre phénomène.

A quel moment la concordance cesse-t-elle d'être satisfaisante? Quelle est la limite inférieure jusqu'à laquelle on pourra compter sur le thermomètre à hydrogène? Telle est la question que se sont posée MM. Cailletet et Colardeau et qu'ils ont étudiée par une méthode dont ils exposent le principe comme il suit[1] :

« Imaginons qu'une série d'appareils fondés sur des propriétés diverses dépendant de la température se trouvent réunis, ainsi qu'un thermomètre à hydrogène, dans un même milieu. Notons pour chacun d'eux les indications I_1, I_2, I_3..., qu'il donne, quand la température de l'enceinte prend les valeurs successives T_1, T_2, T_3..., fournies par le thermomètre à hydrogène, dans les limites où ce gaz réalise d'une façon suffisante l'état parfait.

« En traçant la courbe de ces résultats, nous obtenons la relation

$$I = f(T),$$

qui relie les indications de chacun d'eux à la température absolue, dans les limites de l'expérience. Une fois cette relation établie, nous pourrons réciproquement nous en servir pour calculer la valeur de T, d'après l'indication correspondante I donnée par l'appareil. Mais il est clair que ce calcul n'aura de valeur qu'autant que T sera compris dans les limites entre lesquelles on aura effectué la graduation. Toute extrapolation un peu éloignée de ces limites sera dépourvue de certitude.

« Admettons toutefois que cette extrapolation donne des résultats bien concordants pour tous les appareils mis en œuvre, ou du moins pour un grand nombre d'entre eux. Cette concordance même tendra à prouver que la courbe tracée pour chaque phénomène en fonction de la température absolue continue à le représenter exactement lorsqu'on la prolonge au-delà des limites de la graduation. Alors chaque extrapolation sera justifiée par son accord avec les autres, et cette justification sera d'autant meilleure que le nombre des appareils comparés sera plus grand et que leur construction sera basée sur des phénomènes plus dissemblables.

« En abaissant peu à peu la température pour laquelle on réalisera cette comparaison, on pourra sans doute saisir le moment où l'hydrogène, assez rapproché de son point critique, cessera de donner une concordance suffisante. Ce sera le moment de renoncer à son emploi. »

Les appareils employés par MM. Cailletet et Colardeau sont au nombre de cinq :

1° Un thermomètre à hydrogène construit de telle sorte que la mesure de la variation de pression n'exige qu'une seule lecture;

2° Une résistance électrique constituée par un fil de platine. Ce fil, dont le diamètre est de 0,2 mm. et la longueur de 6 mètres, est enroulé sur tube mince en ébonite au milieu duquel est placé le réservoir du thermomètre à hydrogène. Sa résistance est mesurée par la méthode du pont de Wheatstone;

3° Un couple thermo-électrique de M. Le Chatelier (platine pur-platine rhodié);

4° Un couple thermo-électrique fer-cuivre. Ce couple s'éloigne de son point neutre par refroidissement; le couple de M. Le Chatelier s'en rapproche dans les mêmes conditions. La sensibilité de ce dernier diminue donc quand la température s'abaisse, tandis que celle du premier demeure sensiblement la même;

[1] *Comptes rendus*, t. CVI, p. 1489 et 1831 (1er semestre 1888).

5° Un lingot de platine pur du poids de 300 grammes servant à déterminer la température par une expérience calorimétrique.

La détermination de la fonction $I = f(T)$ pour la résistance et les couples s'effectue à l'aide des mesures obtenues en portant ces appareils aux températures suivantes :

1° Le point d'ébullition de l'eau à la pression 0,760 m.;

2° Le point de fusion de la glace;

3° Le point d'ébullition du chlorure de méthyle à la pression ordinaire. Ce point était — 23°4 pour l'échantillon employé, d'après les indications d'un excellent thermomètre à mercure contrôlé au Bureau international des poids et mesures.

Ces mesures ont donné les fonctions suivantes :

Résistance électrique	$R_T = R_0 + 0{,}04378\,T - 0{,}0000109\,T$	
Pince Le Châtelier...	$E_T =$	$0{,}51048\,T + 0{,}00162\,T^2$
Pince fer-cuivre.....	$E_T =$	$0{,}7935\,T - 0{,}001335\,T^2$

la seconde soudure des pinces étant maintenue à 0°.

La détermination de la fonction $I = f(T)$ n'a pas été faite pour le lingot de platine. MM. Cailletet et Colardeau ont adopté la formule donnée par M. Violle pour résumer l'étude calorimétrique du platine entre 0° et 1700°.

Les températures d'ébullition du protoxyde d'azote et de l'éthylène sous la pression ordinaire ont été calculées au moyen des indications des appareils précédents et par extrapolation de leurs formules. On a trouvé

	Protoxyde d'azote	Éthylène
Thermomètre à hydrogène.....	— 88°,8	— 102°,4
Résistance électrique.....	— 88°,7	— 102°,6
Expérience calorimétrique.....	— 88°,9	— 102°
Pince platine-platine rhodié.....		— 102°,1
Pince fer-cuivre.....		— 102°,9

La concordance des nombres de ce tableau conduit à cette conclusion que l'hydrogène continue à être un gaz parfait jusqu'à — 100° et que les indications du thermomètre à hydrogène donnent encore très sensiblement les températures de l'échelle thermodynamique.

Wroblewski (1) avait cru démontrer que les indications du thermomètre à hydrogène sont acceptables jusqu'à — 193° en constatant que jusqu'à cette température elles concordent avec celles d'un couple maillechort-cuivre. Mais, outre que le couple choisi a l'inconvénient de se rapprocher de son point neutre par refroidissement, le nombre des appareils comparés est trop petit pour que la démonstration soit à l'abri de la critique. De plus, Wroblewski admettant *a priori* que le thermomètre à hydrogène donne les températures de l'échelle thermodynamique jusqu'à — 100° et même — 130°, les expériences de MM. Cailletet et Colardeau comblent donc une lacune importante en mettant hors de doute ce dernier point.

Une autre conséquence de la concordance des nombres du tableau précédent est que, jusque dans le voisinage de — 100°, le choix de l'appareil de mesure est indifférent au point de vue de l'échelle. La commodité d'emploi et la sensibilité peuvent seules fixer ce choix. Sous ce rapport, le couple fer-cuivre présente sur les autres appareils des avantages incontestables qui ont décidé MM. Cailletet et Colardeau à se servir de ce couple pour la mesure des basses températures fournies par la neige d'acide carbonique.

Des résultats de cette étude nous ne retiendrons que les suivants :

1° La température de l'acide carbonique neigeux, tassé ou non, est — 60° sous la pression atmosphérique et — 76° dans le vide;

2° La température d'un mélange d'éther et de neige est — 77° sous la pression atmosphérique et — 103° dans le vide, quelles que soient les proportions de ce mélange, pourvu qu'il y ait un excès de neige solide qui maintienne la saturation de l'ether; s'il n'y a pas excès de neige, la température est comprise entre — 60° et — 77° ou entre — 76° et — 103°, suivant qu'on opère sous la pression ordinaire ou dans le vide. Un mélange d'éther et d'acide carbonique constitue donc un repère de température parfaitement constant si l'on prend la précaution de prendre un excès d'acide.

EXPÉRIENCES DE MM. DEWAR ET FLEMING (1).

Ces expériences, dont nous avons donné récemment une analyse (2), ont pour but la me-

(1) *La Lumière Electrique*, t. XXVIII, p 315.

(1) *Philosophical Magazine*, t. XXXIV, p. 326 octobre 1892).

(2) *La Lumière Électrique* du 29 octobre.

sure des résistances des métaux et des alliages entre la température d'ébullition de l'eau sous la pression atmosphérique et celle de l'oxygène sous une pression de 2,5 à 3 cm. Les températures intermédiaires auxquelles des mesures ont été faites sont :

1° Celle de l'air ambiant;

2° Celle de la fusion de la glace;

3° La température d'un mélange d'acide carbonique et d'éther;

4° La température d'ébullition de l'éthylène sous la pression normale;

5° Enfin, celle de l'oxygène bouillant sous cette pression.

Sans indiquer leur provenance, MM. Dewar et Fleming adoptent les valeurs suivantes pour les quatre des températures précédentes qui sont au-dessous de zéro :

— 80° pour la température du mélange d'éther et de neige carbonique;
— 100° pour la température d'ébullition de l'éthylène sous la pression atmosphérique;
— 182° pour celle de l'oxygène dans les mêmes conditions;
— 197° pour celle de l'oxygène dans le vide.

D'après les recherches de MM. Cailletet et Colardeau, la température adoptée pour le mélange d'éther et d'acide carbonique est d'au moins 3° trop basse; celle adoptée pour l'éthylène est supérieure à la moyenne des nombres obtenus par M. Cailletet et à la température trouvée par Wroblewski (— 103°); enfin, les températures d'ébullition de l'oxygène sous une pression de 74 centimètres et sous une pression de 4 centimètres sont respectivement — 181°,5 et — 200°,4 d'après Wroblewski, et il résulte d'une remarque de M. C.-E. Guillaume [1], que les températures voisines de — 200° déterminées par Wroblewski doivent être abaissées d'une dizaine de degrés; par suite, la température — 197° adoptée par MM. Dewar et Fleming est donc certainement beaucoup trop élevée.

Pour ces raisons, les mesures de résistance effectuées par ces physiciens ne peuvent permettre de trouver la relation donnant la résistance d'un métal en fonction de la température évaluée dans l'échelle thermodynamique. Mais en revanche, elles peuvent servir à calculer par extrapolation les températures d'ébullition de l'oxygène sous la pression atmosphérique et dans le vide.

Avant d'effectuer ce calcul, montrons que la formule

$$R_T = R_0 (1 + 0{,}003448\,T - 0{,}000000533\,T^2),$$

donnée par M. Callendar pour représenter la variation du platine entre 0° et 600°, s'applique encore assez bien aux basses températures et confirme les remarques faites précédemment à propos des températures adoptées par MM. Dewar et Fleming. Pour cela, nous avons inscrit dans le tableau suivant les résistances mesurées par ces derniers expérimentateurs et les nombres calculés par la formule précédente en y remplaçant T par les valeurs adoptées par ces physiciens.

Résistances	100°,2	18°	1°	— 80°	— 100°	— 182°	— 197°
Mesurées	10912	8698	8248	6133	5295	2821	2290
Calculées	11011	8726	8249	5937	5342	2916	2466

On voit qu'à 100° l'écart entre les résultats du calcul et de l'observation n'est que le centième de la quantité mesurée, et le sens de cet écart indique que le coefficient de T dans la formule de M. Callendar est un peu plus élevé que celui qui conviendrait pour représenter exactement la variation de résistance de l'échantillon étudié par MM. Dewar et Fleming. Par suite, les nombres donnés par la formule pour les températures négatives doivent être un peu plus petits que les résistances vraies. Or, le tableau précédent montre qu'aux températures d'ébullition de l'éthylène et de l'oxygène ces nombres sont néanmoins plus grands que les résultats des mesures. C'est donc, puisque la résistance du platine diminue quand la température s'abaisse, que ces résultats se rapportent à des températures un peu plus basses que celles qui ont été adoptées.

Au contraire, pour — 80°, le nombre calculé est plus petit que le nombre mesuré; par suite la température à laquelle a été effectuée la mesure doit être un peu plus élevée que — 80°.

Les remarques faites plus haut par la comparaison des températures adoptées par MM. Dewar et Fleming et celles observées par divers physiciens se trouvent donc confirmées de point en point par l'application de la formule de M. Callendar.

[1] *La Lumière Electrique*, t. XXVIII, p. 416.

Passons maintenant au calcul, par extrapolation, des températures d'ébullition de l'oxygène sous la pression atmosphérique et sous celle de 2,5 à 3 centimètres de mercure.

Nous pouvons nous servir des résultats obtenus aux cinq autres températures pour calculer les coefficients a et b d'une formule

$$R_T = R_0 + aT + bT^2,$$

représentant la résistance de chaque métal entre + 100° et — 100°. Toutefois, nous croyons qu'il est prudent de laisser de côté les nombres correspondant à la température du mélange d'éther, et d'acide carbonique, cette température n'étant pas bien déterminée, MM. Dewar et Fleming n'ayant peut-être pas pris la précaution de mettre assez de neige carbonique pour saturer l'éther; d'ailleurs, sur huit métaux étudiés, cinq seulement ont été portés à cette température.

Les coefficients des formules suivantes ont été calculés à l'aide des données (voir p. 245, n° 44, 29 oct. 1892) relatives à la température de l'eau bouillante, à celle de la glace fondante et à celle de l'éthylène bouillant. Nous avons adopté pour cette dernière température, — 102°,5, moyenne des résultats de MM. Cailletet et Colardeau. Nous avons obtenu pour le :

Platine.....	$R_T = 8221 + 27{,}69\,T - 0{,}00835\,T^2$
Or...	$R_T = 1948 + 7{,}20\,T - 0{,}0003\,T^2$
Argent.....	$R_T = 1559 + 5{,}81\,T - 0{,}0001\,T^2$
Cuivre	$R_T = 1330 + 5{,}72\,T - 0{,}0006\,T^2$
Fer.....	$R_T = 8609 + 49{,}51\,T - 0{,}0458\,T^2$
Aluminium.	$R_T = 3165 + 13{,}93\,T + 0{,}0181\,T^2$
Nickel.....	$R_T = 12266 + 65{,}20\,T + 0{,}0514\,T^2$
Etain.....	$R_T = 9576 + 40{,}50\,T + 0{,}0241\,T^2$

En calculant avec ces formules les températures d'ébullition de l'oxygène, d'après les résistances observées par MM. Dewar et Fleming, à ces températures nous trouvons :

	Température d'ébullition	
	sous la pression atmosphérique	sous une pression de 2,5 à 3 c.
D'après la résistance du platine...	— 185°	— 201°
— de l'or.....	— 185°	
— de l'argent...	— 186°	
— du cuivre....	— 186°	— 201°
— du fer.....	— 185°	— 200°
— l'aluminium.	— 215°	
— du nickel....	— 187°	
— de l'étain....	— 196°	

Les nombres obtenus présentent une concordance remarquable à l'exception de ceux fournis par l'aluminium et l'étain. D'ailleurs, les divergences présentées par ces derniers nous paraissent explicables. Une erreur doit s'être glissée dans l'impression des valeurs des résistances observées pour l'aluminium, car, dans leur mémoire, MM. Dewar et Fleming disent que la représentation graphique de la variation de résistance de ce métal donne presque exactement une ligne droite, tandis que les nombres de leur tableau conduisent à une ligne à courbure très prononcée. Quant à l'étain, les modifications internes qu'il subit lorsqu'on le soumet à de très basses températures ne permettent pas d'avoir confiance dans les résultats de l'extrapolation.

Si nous ne tenons pas compte des nombres fournis par les résistances de ces deux métaux, nous voyons que les températures d'ébullition de l'oxygène sont un peu plus basses que les températures ordinairement admises d'après Wroblewski. La conclusion à laquelle M. C. Guillaume était déjà parvenu en discutant les résultats des expériences de Wroblewski sur la résistance du cuivre se trouve ainsi confirmée.

J. Blondin.

(*A suivre*).

CHRONIQUE ET REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

Dispositif régulateur de la pression de vapeur, système W. Reid.

Dans les figures 1 et 2, A est l'entrée de la vapeur à haute pression; B est la soupape faisant communiquer l'entrée de vapeur à haute pression avec la sortie G de la vapeur à pression réduite. Cette soupape B est pressée sur son siège par le ressort C en bronze phosphoreux; elle est solidaire d'un piston D laissant un certain jeu entre son pourtour et le cylindre qui le reçoit.

Lorsqu'on admet la vapeur, la soupape B se ferme, mais il subsiste en E un passage étroit permettant à la vapeur d'atteindre la petite soupape F. Une pression peu considérable est suffisante pour soulever cette soupape et pour

laisser passer la vapeur au-dessus du piston D, qui présente une surface un peu plus grande que la soupape B. Dès l'instant donc que la vapeur arrive au-dessus du piston D, celui-ci peut descendre malgré le ressort C et ouvrir ainsi la

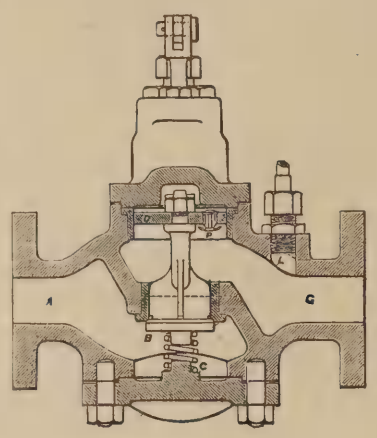


Fig. 1

soupape principale d'admission. Ce dispositif réalise donc une sorte de soupape équilibrée.

Le jeu laissé par les bords du piston D ne gêne en rien, puisque la vapeur qui s'en échapperait s'en irait par la sortie G.

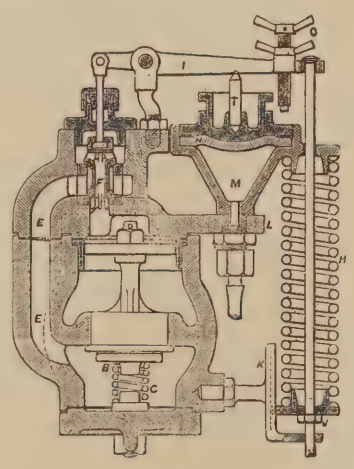


Fig. 2

Le grand ressort H est, comme on le voit, fixé au levier I d'une part, et d'autre part à l'écrou J, ce qui permet de le régler en se guidant sur la graduation de l'échelle K. Un tuyau L mène la vapeur à pression réduite dans une coupe M toujours remplie d'eau, pour éviter que la vapeur n'atteigne la paroi flexible N. La pression de la vapeur est transmise au levier I par l'intermédiaire de cette paroi flexible supportant un taquet T.

Dès que la pression de sortie de la vapeur dépasse la limite que l'on s'est fixée, elle agit sur la paroi N, vainc la résistance du ressort H, soulève le levier I et ferme ainsi la petite soupape F. Il ne passe donc plus de vapeur au-dessus du piston, et la pression de la vapeur inférieure ferme la soupape d'admission. Lorsque la pression tombe de nouveau du côté de la sortie de la vapeur les mouvements inverses des divers organes font rouvrir la soupape B et admettre une nouvelle quantité de vapeur à haute pression.

Ce système régulateur permet d'obtenir de la vapeur à pression constante, quelles que soient les fluctuations dans la pression de la chaudière. Dans beaucoup, ce dispositif peut présenter de l'intérêt pour les électriciens.

A. H.

Plomb fusible Stanley et Kelman (1892).

Chacun des deux plombs fusibles D est monté sur une plaque de porcelaine C, pourvue de deux touches *e e'*, qui font contact avec les bornes de

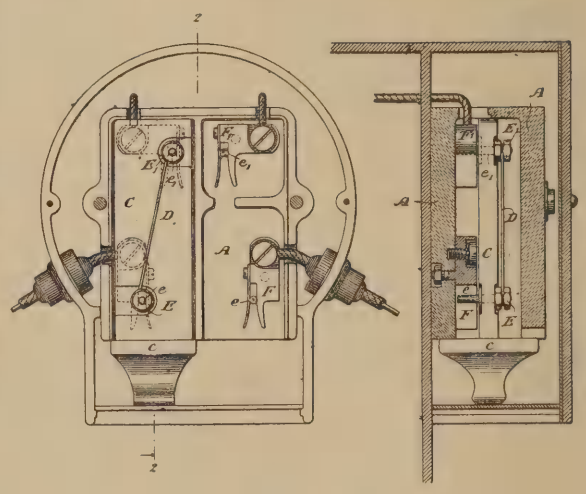


Fig. 1 et 2.

prise du courant E F E' F' quand on insère la plaque C dans l'un des compartiments de la boîte en porcelaine A. Une fois insérée, la plaque C est soutenue par la cale *c*. On peut ainsi très facilement renouveler les plombs en les remplaçant par un plomb tout monté sur sa plaquette,

que l'on saisit sans aucun danger par sa poignée *c*.

Photomètre au sélénium E. Thomas (1891).

Le principe de ce photomètre est le suivant. La plaque du sélénium P tourne rapidement entre la lumière étalon et la lumière à comparer, et elle envoie, par un jeu de commutateurs que nous allons décrire, le courant d'une pile dans un galvanomètre tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, suivant qu'elle regarde l'une ou l'autre des lumières.

D'après M. Thomas, les intensités de ces lumières sur la plaque de sélénium seraient égales

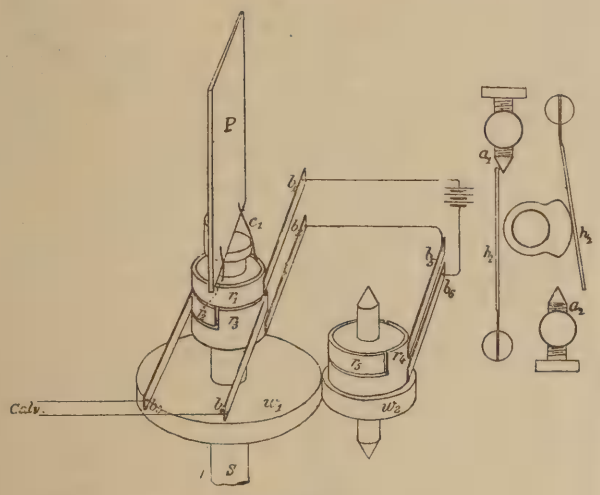


Fig. 1 et 2.

quand le galvanomètre reste au zéro sous leurs deux influences, et cela indépendamment des altérations subies à la longue par le sélénium, altérations qui s'opposent souvent à l'utilisation pratique de ses propriétés photo-électriques.

L'axe S de la plaque P commande par des engrenages w_1 w_2 un commutateur r_1 r_5, qu'il fait tourner deux fois plus vite que P et son commutateur $r_1 r_2 r_3$. Dans la position indiquée, le courant passe de la pile au galvanomètre par b_1 r_1 c_1 P r_2 b_3 b_1 r_3 b_1 b_5 r_4 b_6, mais seulement tant que b_5 touche r_4; quand r_5 vient sous b_5, le courant est rompu, ce qui arrive à chaque demi-tour de w_1. En outre, à chaque demi-tour de w_1, le courant change de sens dans le galvanomètre, où il passe tantôt par le trajet précédemment indiqué, tantôt par b_1 c_1 P r_2 b_1 b_3 r_3... quand r_2 vient au contact de b_4 et r_3 en b_3.

En figure 2, la commutation se fait par une came h_2, tournant avec P, et envoyant le courant au galvanomètre, à chaque demi-tour de la plaque, tantôt par a_2 h_2, tantôt par a_1 h_1. L'instrument se règle comme précédemment en ramenant le galvanomètre au zéro avec la plaque

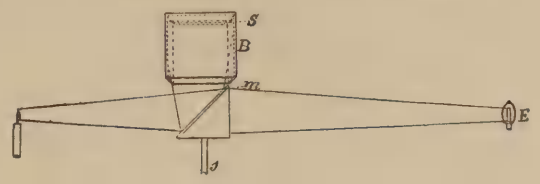


Fig. 3

tournant à vide sous un écran opaque. Avec un galvanomètre ordinaire, le mécanisme (fig. 2) remplace le commutateur w_2 de la figure 1; mais, avec un galvanomètre différentiel, on excite ses deux enroulements alternativement par h_1 et par h_2. Les vis a_1 a_2 permettent de faire varier la durée des contacts.

Enfin, l'on peut, ce qui paraît plus simple, au lieu de faire tourner le sélénium, fixer cette plaque en S (fig. 3) au fond d'une chambre, et faire tourner sous elle un miroir *m*, incliné à 45° sur son axe *s*, qui lui envoie ainsi alternativement la lumière de la bougie étalon *p* et celle de la source en expérience E. On peut aussi, comme l'indique

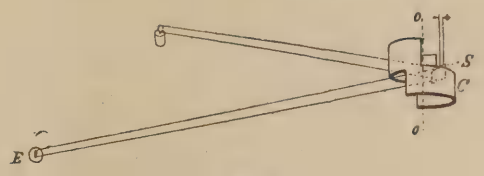


Fig. 4

la figure 4, produire ces alternances par un écran crénelé C, tournant autour de l'axe *o*, et renfermant la plaque de sélénium S.

G. R.

Compteur Teague (1891).

M. Teague a récemment apporté à ses compteurs, bien connus de nos lecteurs, une addition ayant pour objet de conserver au compteur une température constante de manière à réduire au minimum les variations de la viscosité et du frottement de leurs huiles, etc.

Cet effet est obtenu au moyen d'une résistance

a', complémentaire de la bobine principale a, et qui se trouve alternativement introduite, puis soustraite au circuit par la lame thermostatique u, faisant et rompant contact en n : l'échauffement de cet enroulement a_1 maintient l'appareil à une température sensiblement constante, réglée par la lame u. Quant à l'enroulement a_1, ses spires sont disposées alternativement en sens contraire de manière à n'exercer aucune perturbation sur les indications du compteur.

On reconnaît en a et b les enroulements en dérivation et en série de l'électro-aimant lef, dont l'armature cc tourne dans de la glycérine entre les pôles circulaires l et e, en contact avec les mercures g et h, reliés au courant à mesurer.

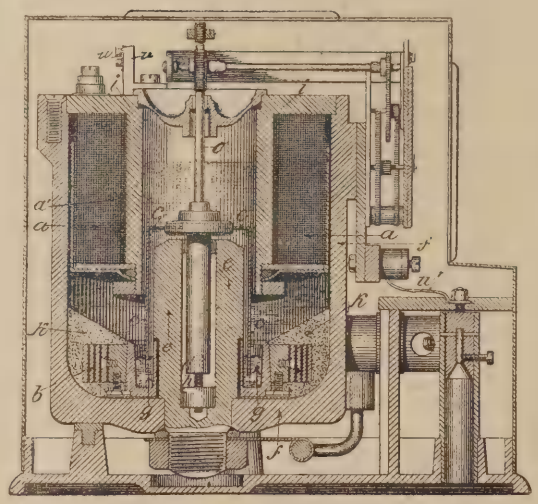


Fig. 1. — Compteur Teague.

La cuvette en circuit k ramène au centre le mercure dispersé par la force centrifuge. Le compteur est protégé par un plomb fusible u_1, visible de l'extérieur.

Dans une variante de ce compteur, les deux enroulements de la bobine a, en dérivation et à fils fins, et b, en série et à gros fils, sont disposés non pas en concordance, mais en opposition, de manière que leur action différentielle retardatrice, croissante avec l'intensité du courant, compense la diminution des frottements avec la vitesse du mécanisme du compteur, qui augmente alors à très peu près proportionnellement aux intensités. Pour un compteur de 30 ampères et au-dessous, l'enroulement b se compose de six tours d'une large bande de cuivre.

Le mercure g, situé dans le champ de b, et dans lequel tourne l'armature c, entre les pôles e et i, est surmonté d'une colonne de glycérine montant presque jusqu'en o, et qui diminue le frottement variable du pivot par sa poussée hydrostatique, tout en faisant frein sur l'armature par son frottement liquide invariable, ce qui permet de tourner avec une vitesse moindre, et de diminuer d'autant l'importance des mécanismes réducteurs. Cette glycérine empêche aussi l'oxydation du mercure. Avec un courant de 30 ampères et 100 volts et le compteur fait, par exemple, 15 tours par minute, et 2 1/2 tours seulement avec 5 ampères.

L'axe de l'armature tourne dans un second bain de mercure h, creusé dans le pôle e, isolé du bain g, et l'enroulement b est comme précédemment imbriqué dans une cuvette de ciment k qui ramène au centre le mercure épanoui par la force centrifuge.

G. R.

Coupe-circuit Dingle et Urquhart (1891).

Le fonctionnement de cet appareil très simple et robuste est le suivant :

Pour fermer le circuit, on pousse le bouton D,

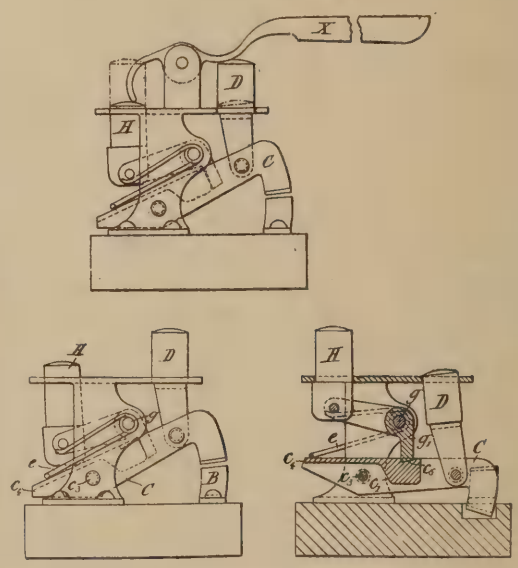


Fig. 1, 2 et 3.

ce qui abaisse le levier C au contact de B, où il reste maintenu par l'enclenchement en c^5 de la queue g' du levier g, comme en figure 2.

Pour ouvrir le circuit, on pousse (fig. 1) le

bouton H, ce qui déclenche le levier C, en abaissant g, de sorte que la pression du ressort e sur c_1 relève vivement ce levier dans la position de rupture (fig. 1), où il reste enclenché par la prise du bras g' de g sur le talon c_1 de c.

La figure 3 indique comment on peut effectuer ces deux manœuvres par un seul levier X.

G. R.

Turbo-moteur Edwards (1892).

Ainsi qu'on le voit sur la figure 1, cette turbine à vapeur se compose essentiellement d'un disque 30, mobile entre deux plateaux fixes 14

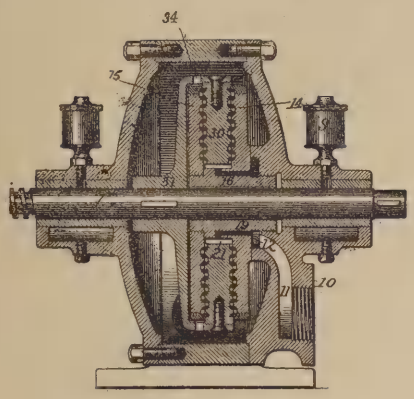


Fig. 1. — Coupe longitudinale.

et 15, et entraînant l'arbre de couche par le plateau 31. La vapeur admise, par 10, 11, 12 et 21.

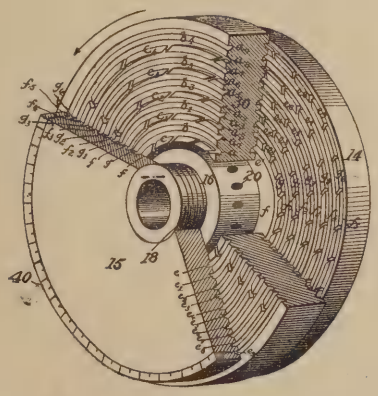


Fig. 2. — Détail des disques.

entre les faces de 30 et celles des plateaux, s'échappe par 33, après s'être détendue entre les aubes réceptrices et directrices du moteur.

Les aubes réceptrices d (fig. 5) du disque moteur comprises entre les cannelures $a \ldots a_9$, et inclinées à 60° sur leurs rayons, constituent six couronnes $c \ldots c_4$, alternées avec cinq anneaux ou gorges vides $b \ldots b_1$. Les cannelures $c \ldots c_3$, les couronnes $g \ldots g_4$ et les anneaux $f \ldots f_5$ des plateaux 14 et 15 sont (fig. 3 et 4) opposés aux can-

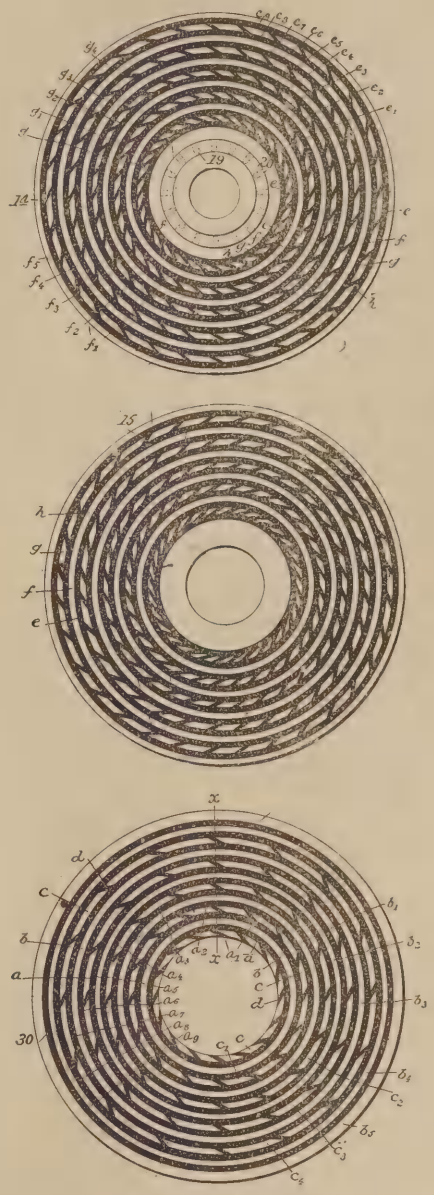


Fig. 3 à 5. — Détail des aubes directrices et réceptrices.

nelures, aux gorges et aux anneaux du disque moteur, et leurs aubes sont inclinées en sens inverse, de sorte que la vapeur passe de la première couronne c du disque à son premier anneau b en étant déviée par les aubes d de c, puis

de *b* au premier anneau *e* et à la première couronne *g* du plateau correspondant, et ainsi de suite, jusqu'à l'échappement, alternativement déviée en sens contraire par les aubes réceptrices *d* et directrices *f*... en même temps qu'elle se détend.

Le jeu entre le disque moteur et ses plateaux est d'environ 7/100 de millimètre, et on peut le régler avec une précision extrême au moyen des verniers 40 (fig. 2) tracés sur les plateaux 14 et 15; puis, une fois réglé, ce jeu se maintient automatiquement égal entre les faces en regard par la tendance de la vapeur à ramener le disque en une position telle que ses pressions soient égales sur ses deux faces, c'est-à-dire, dans sa position médiane entre les deux plateaux.

G. R.

Bain électrolytique double Fletcher (1892).

Dans ce bain *b*, la cathode *a*, cylindrique et creuse, guidée par les galets latéraux *e e*, roule sur le cylindre *c*, commandé par la poulie c^2, entre les anodes latérales fixes *f* et f_2, reliées cha-

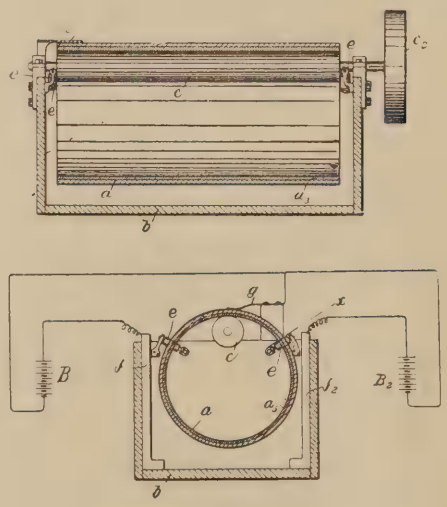


Fig. 1 et 2.

cune à une source d'électricité différente B_1 B_2, dont les autres pôles aboutissent à l'anode par le balai *g*; en outre, f_2 est plus proche de *a* que *f*, de sorte qu'il passe un courant plus intense de *f* vers *a* que de f_2 vers *a*. Les dépôts précipités sur *a* du côté de *f* et du côté de f_2 n'ont pas alors la même structure, et leur enchevêtrement fait, d'après l'inventeur, que le dépôt total ne présente pas, comme avec des anodes identiques, un aspect de stratification par couches concentriques. On obtiendrait donc ainsi un dépôt homogène et très résistant.

G. R.

Appareil électrolyseur Craney (1892).

Dans cet appareil, l'anode consiste en une masse de charbon agglomérée à l'intérieur et entre les parois d'une série de pots B, empilés les uns sur les autres et maintenus par leurs talons *a*. Ces vases en poteries poreuses protègent le charbon contre l'attaque directe et la

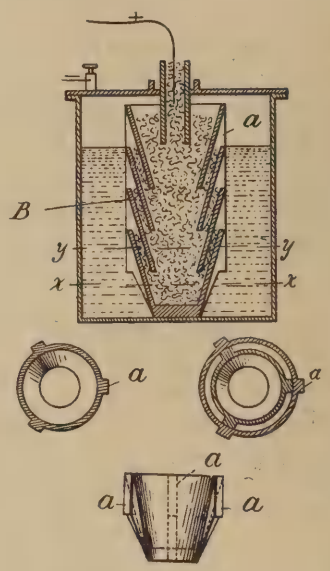


Fig. 1 à 4.

désagrégation, par le chlore, par exemple, dans le cas de l'électrolyse du chlorure de sodium, en empêchant la désagrégation plus lente, mais inévitable, des bandes de carbone comprises entre les parois des pots de s'étendre au corps de l'anode et d'en provoquer la ruine.

G. R.

Accumulateur Eickemeyer (1892).

Les cadres des plaques de ces accumulateurs sont ajourés en carrés *a c c* (fig. 2) avec étoiles *b*, disposées de manière à retenir la matière active accumulée sur leurs parois comme en *l* (fig. 4). Ces plaques, superposées sur des isolants en caoutchouc *h*, percés de trous disposés de ma-

nière à ménager au travers de la matière active des cheminées *i i*, sont pourvues en *f* et *f'* de

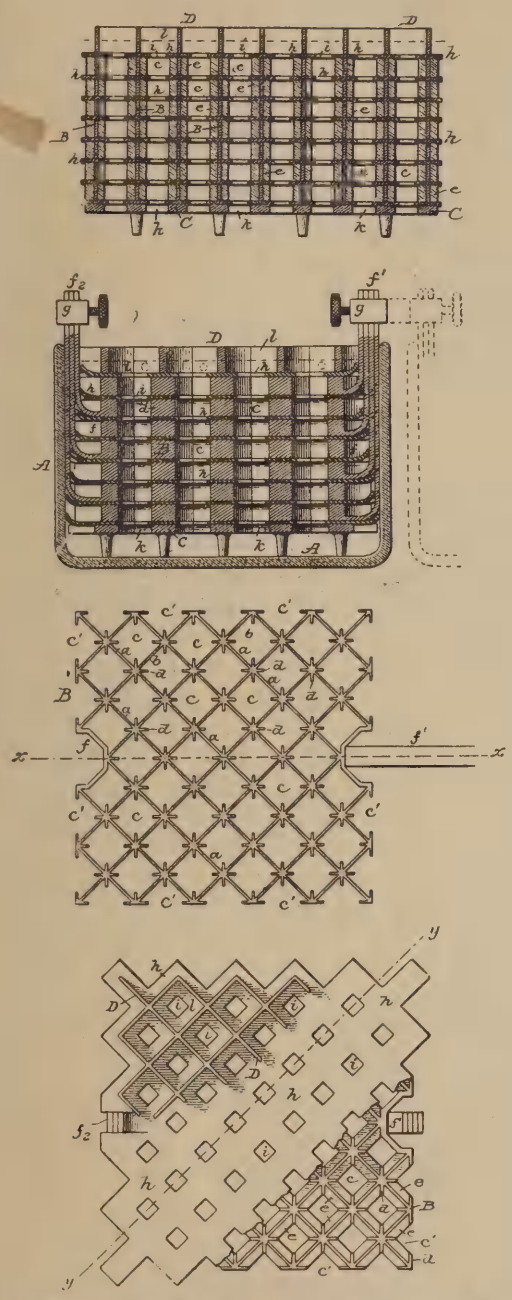


Fig. 1 à 4. — Coupes *x x*, *y y*. Plans d'un cadre dégarni et garni, avec le couvercle D.

prolongements groupés en *g g'* de manière à constituer les pôles de la pile. L'ensemble repose, par un socle perforé C, sur le fond de l'auge A, fermée par un couvercle D, également perforé. Le liquide doit monter jusqu'à environ la ligne ponctuée *l* (fig. 3). On obtient ainsi une pile très robuste, à cadres entièrement plongés dans le liquide excitateur, compacte et très énergique.

Electrolyse du chlorure de sodium procédé Bamberg (1891).

Dans cet appareil, l'anode en carbone A est séparée de la cathode C par trois cloisons D, B, D_1, disposées de manière à ne séparer complètement que le bas des compartiments A et C, qui communiquent suivant le trajet D B D, sans résistance électrique du fait de cette séparation partielle, suffisante pour assurer néanmoins l'évacuation distincte du chlore en P et de l'hydro-

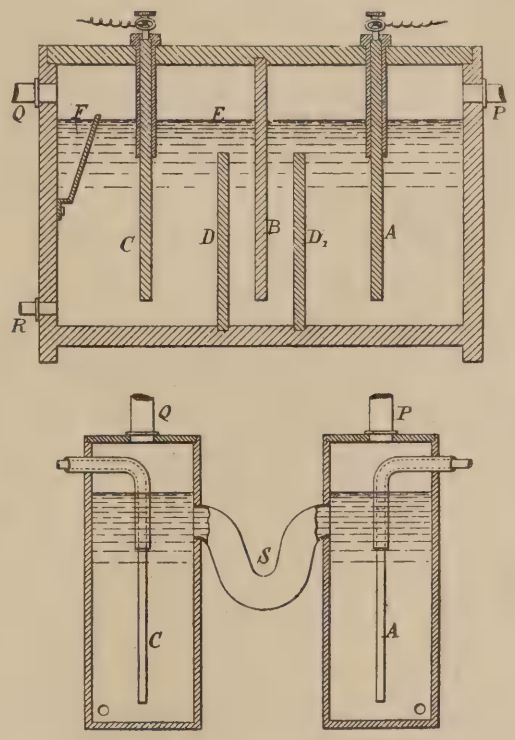


Fig. 1 et 2.

gène en Q. La soude s'évacue en R, et le bain s'alimente de cristaux de chlorure en F.

En figure 2, les deux compartiments A et C communiquent par un siphon renversé en S, équivalent au passage D B D de l'appareil précédent.

Téléphone Swinton.

Dans ce transmetteur, les granules de charbon H, au lieu d'être plus ou moins comprimées

par la membrane D, se meuvent librement dans un petit récipient G, suspendu à la membrane, et dont le fond est formé de deux plaques E E', isolées, et qui servent d'électrodes. La trépidation des granules suffit pour faire varier la résistance

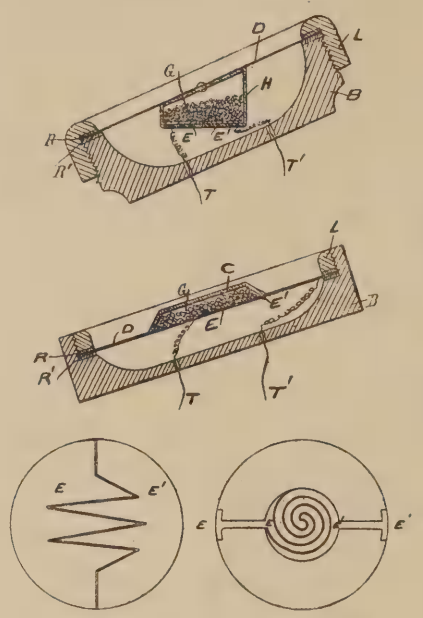


Fig. 1 à 4. — Téléphone Swinton.

de leur masse assez pour la transmission téléphonique.

En figure 2, les électrodes sont fixées à la membrane même.

Ces électrodes doivent être séparées par une ligne de démarcation, la plus longue possible, comblée par un isolant et disposée en zigzag (fig. 3) ou en spirale (fig. 4). G. R.

REVUE DES TRAVAUX
RÉCENTS EN ÉLECTRICITÉ

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du 4 janvier 1893.

SUR LE COUPLAGE DES ALTERNATEURS
PAR M. BLONDEL

Cette communication n'étant, sauf quelques modifications, relatives surtout à l'exposé des propriétés des électromoteurs, qu'un abrégé du mémoire plus étendu publié récemment dans ce journal [1], nous ne croyons pas nécessaire de la reproduire intégralement. Nous en extrairons cependant les passages qui nous ont semblé les plus utiles, c'est-à-dire le résumé pratique des méthodes graphiques imaginées par M. Blondel et les conclusions relatives au transport de force et à la marche en parallèle.

Théorie générale.

Toutes les questions relatives au couplage des alternateurs se résument dans les deux suivantes, qu'il faut éviter de confondre :

1° Comment peut-on établir le synchronisme entre deux ou plusieurs machines.

2° Comment celles-ci se comportent-elles en marche synchrone, lorsque l'une d'elles prend du retard ou de l'avance sur les autres.

La première question sera plus facile à étudier en dernier lieu ; je la laisserai donc provisoirement de côté, pour m'occuper de la seconde.

Considérons seulement deux machines accouplées, et soit T la durée complète d'une période de leur courant; si les pôles mobiles de l'une d'elles passent devant les pôles fixes au moment t, et que ceux de l'autre atteignent la même position relative seulement au moment $t+t'$, ce retard se traduit par une différence de phases $\frac{t'}{T}$. En multipliant ce rapport par 2π on obtient l'angle de décalage θ qui représente simplement l'angle de retard qui existerait entre les directions polaires $O_1 A_1$ et $O_2 A_2$ des deux parties mobiles, si les alternateurs étaient ramenés à la forme bi-polaire (fig. 1 et 2).

Puisqu'il s'agit de mouvements relatifs, on pourra supposer les deux machines immobiles et compter l'angle θ à partir de l'une des directions polaires $O_1 A_1$ prise pour origine fixe (fig. 3). L'angle de retard correspondant pour des alternateurs ayant $2n$ pôles aura pour expression non plus θ, mais $\frac{\theta}{n}$.

Pour examiner tous les régimes possibles, il suffit de donner successivement à θ toutes les valeurs comprises entre 0 et 2π, tout en conservant la marche synchronique.

Cette étude peut être faite expérimentalement en plaçant les deux dynamos à essayer $A_1 A_2$ à

[1] *La Lumière Electrique*, t. XLV et XLVI.

côté l'une de l'autre (fig. 4) et en embrayant les deux arbres par l'intermédiaire d'un dynamomètre de torsion D, dont on puisse modifier a volonté le clavetage pour changer l'angle de calage des deux arbres entre eux. Après avoir mesuré le décalage au repos, on fera tourner les deux alternateurs en attaquant seulement l'un d'eux A_1, et on les fermera sur le circuit extérieur C. Une fois le régime bien fixe, on lira les intensités et le voltage à l'aide de deux électrodynamomètres et d'un voltmètre approprié, et la puissance P_2 de la machine A_2 d'après la déviation du dynamomètre; l'angle de retard α s'ob-

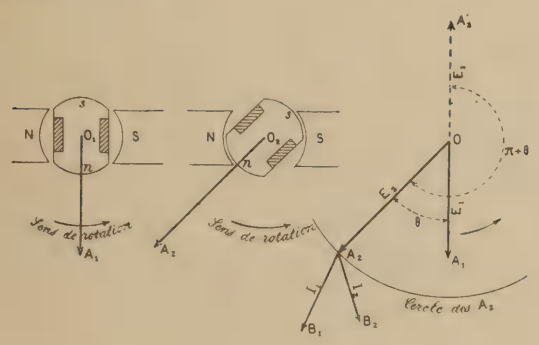


Fig. 1, 2 et 3

tiendra en faisant la somme de cette déviation et de l'angle de calage; on en déduira $\theta = n\alpha$.

En donnant à α toutes les valeurs depuis o jusqu'à $\frac{2\pi}{n}$ on obtiendra d'une façon rigoureuse les lois de variation de la puissance et de l'intensité pour l'un des alternateurs et par conséquent aussi pour l'autre.

La même méthode pourrait être appliquée avantageusement à l'étude d'une transmission de force au moyen des deux alternateurs considérés en les couplant en série par l'intermédiaire d'une résistance équivalant à celle de la ligne. La puissance fournie à l'ensemble par le moteur mécanique représente alors seulement la puissance perdue dans le transport de force; il suffit donc de la mesurer à l'aide d'un second dynamomètre de forme quelconque, pour en déduire le rendement total pour les différentes valeurs du décalage et, par suite, de la charge. Mais ce procédé direct n'est pas toujours d'un emploi facile et l'on devra y suppléer dans la plupart des cas par la méthode théorique suivante.

Principe de la méthode graphique.

Le décalage des forces électromotrices entre elles étant précisément égal à celui des machines correspondantes que j'ai appelé θ, on peut les représenter par deux vecteurs portés sur les directions $O A_1$ et $O A_2$ (fig. 3), et égaux respectivement aux forces électromotrices efficaces E_1 et E_2, et on choisira encore l'une d'elles, $O A_1$ par exemple, comme origine fixe des angles θ.

Pour prendre les circonstances les plus ordinaires, je supposerai que E_1 et E_2 restent constants quand θ varie. L'extrémité A_2 décrira donc

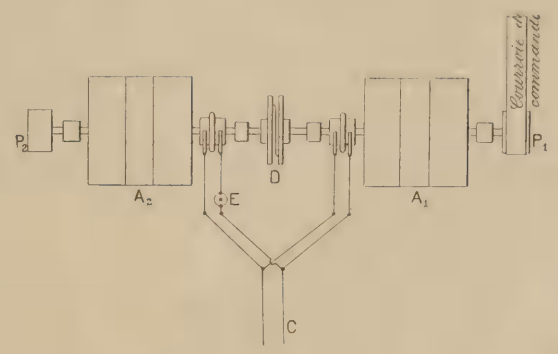


Fig. 4. — Étude expérimentale d'un couplage, A_1 A_2 alternateurs, D dynamomètre de torsion.

un cercle ayant O pour centre et que j'appellerai *cercle des* A_2.

A chaque valeur du décalage, c'est-à-dire à chaque position de $O A_2$, correspondront deux valeurs particulières des courants I_1 et I_2 (en les supposant différents); ceux-ci seront représentés en grandeur et en phase par deux segments, que je tracerai toujours suivant l'orientation convenable à partir du point A_2, de façon à bien montrer à quel décalage ils s'appliquent. Je montrerai dans chaque cas la façon de les déterminer sans calculs.

En second lieu, les puissances électriques P_1 et P_2 fournies par les deux alternateurs sont respectivement égales aux produits de E_1 par la projection de I_1 sur $O A_1$ et de E_2 par la projection de I_2 sur $O A_2$. Je représenterai ces projections par deux segments portés tous deux sur la direction $O A_2$ correspondante, et obtenus sans avoir déterminé I_1 et I_2.

Enfin, on pourrait sur la même épure voir facilement comment varie la tension aux bornes, mais je n'en parlerai pas ici spécialement.

On a le tort souvent de vouloir mesurer les intensités et les tensions à une même échelle, ce qui rend les épures illisibles. Il est toujours préférable d'adopter autant d'échelles qu'il y a de quantités physiques différentes. Dans tout ce qui va suivre, j'en emploierai deux, l'une pour les intensités, l'autre pour les tensions, en choisissant toujours pour valeur de leur rapport l'impédance totale du circuit où passera le courant synchronisant.

Graphiques des différents couplages (1).

1° *Couplage en série.* — Soient deux alternateurs A_1 et A_2, fonctionnant à la fréquence $\frac{1}{T}$, avec des forces électromotrices différentes E_1 et E_2 et reliés en série par un circuit extérieur quelconque; désignons les résistances et self-induction par les symboles suivants :

r_1 et l_1 pour l'alternateur A_1;
r_2 et l_2 pour l'alternateur A_2;
R et L pour le circuit extérieur;
ρ et λ pour le circuit total;

et posons $\frac{2\pi}{T} = m$, (vitesse angulaire des alternateurs bipolaires équivalents).

Dans cette question, au lieu de mesurer les forces électromotrices dans le même sens aux bornes des machines, il est plus naturel de les compter dans le sens où elles se présentent en suivant le circuit; cela revient seulement à changer le signe de l'une d'elles, E_1 par exemple, et à prendre pour le vecteur fixe correspondant, non pas $O A_1$ (fig. 5), mais la direction opposée $O A'_1$.

Cela posé, la tension agissante est la résultante de E_1 et E_2, qu'on obtient en joignant $A_1 A_2$.

L'intensité efficace produite dans le circuit I est égale, comme on le sait, à cette tension divisée par la résistance apparente du circuit total $\sqrt{\rho^2 + m^2\lambda^2}$, et elle est décalée en arrière de la tension d'un angle Φ donné par la condition $\operatorname{tang} \Phi = m \frac{\lambda}{\rho}$. Supposons qu'on prenne pour évaluer les intensités une échelle $\sqrt{\rho^2 + m^2 \lambda^2}$ fois plus grande que celle des tensions, I sera représenté tout simplement en grandeur par le segment $\overline{A_1 A_2}$ lui même.

Les longueurs $O A_1$ et $O A_2$, qui représentent E_1 et E_2 à l'échelle des volts, représenteront évidemment à l'échelle des ampères les intensités que chacun des alternateurs produirait dans le circuit, l'autre étant arrêté; pour simplifier l'écri-

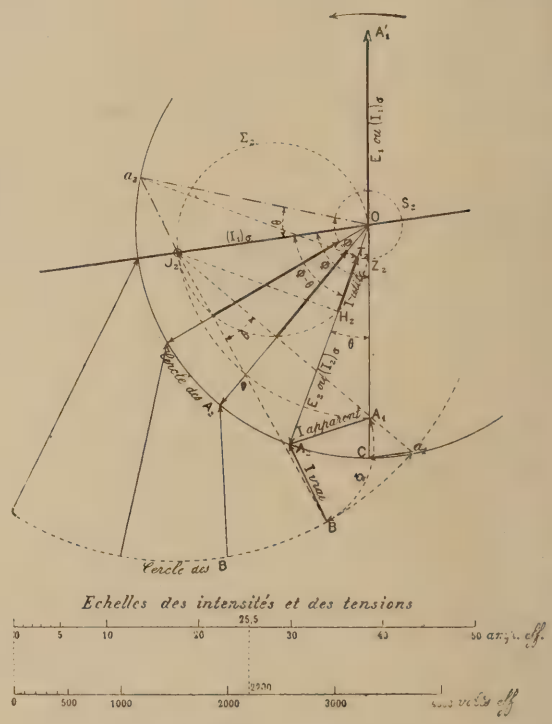


Fig. 5. — Couplage en série.

ture, je désignerai ces intensités par les symboles

$$(I_1)_\sigma = \frac{E_1}{\sqrt{\rho^2 + m^2\lambda^2}} \quad \text{et} \quad (I_2)_\sigma = \frac{E_2}{\sqrt{\rho^2 + m^2\lambda^2}}.$$

On démontre (1) que ces deux puissances P_1

(1) Toutes les épures ci-jointes ont été établies d'après les constantes de l'alternateur Mordey de 37,5 kilowatts.

(1) Voici la démonstration sommaire de cette règle et de la suivante :

Pour avoir l'intensité en phase $\overline{A_2 B}$, il faudrait faire tourner le segment $A_2 A_1$ d'un angle égal à Φ déterminé plus haut (fig. 5).

On obtiendrait le même résultat au point de vue de l'orientation de ce segment en faisant tourner tout le triangle $O A_2 A_1$ de ce même angle Φ autour du point O, de sorte que $\overline{A_1 A_2}$ vînt en $\overline{J_2 a_2}$.

La projection de I_2 sur E_2 s'obtient en projetant $J_2 a_2$ sur $O A_2$, et l'on a immédiatement :

et P_2, ou plutôt les deux intensités utiles qui leur sont proportionnelles, peuvent se représenter sur le rayon vecteur $O A_2$ lui-même à l'aide de la construction suivante : Tracer deux lignes $O J_1$ $O J_2$ faisant des angles $+ \Phi$ et $- \Phi$, avec le prolongement $O A_1$ de la force électromotrice fixe $O A'_1 = E_1$; prendre les longueurs $\overline{O J_1} = (I_2)_\sigma$ et $\overline{O J_2} = (I_1)_\sigma$ et construire deux cercles Σ_1 et Σ_2 ayant ces segments comme diamètres; projeter J_1 et J_2 sur $O A_1$ et tracer deux nouveaux cercles S_1 S_2 ayant $O Z_1$ et $O Z_2$ pour rayons. Le vecteur $O A_2$ coupe les quatre cercles aux points H_1, H_2, T_1 et T_2, et on a simplement en grandeurs et en signes (1)

$$P_1 = E_1 \times \overline{H_1 T_1} \qquad P_2 = E_2 \times \overline{H_2 T_2}.$$

Les quatre cercles constituent l'épure polaire des puissances tout à fait analogue à l'épure de Zeuner pour les distributions de machines à vapeur.

Quant à l'intensité I en phase, c'est-à-dire $\overline{A_2 B}$, on l'obtient par la règle suivante : tracer l'intensité en phase $\overline{C a_1}$ correspondant à $\theta = o$, et décrire autour de J_1 comme centre le cercle passant par le point a_2 : l'extrémité B de l'intensité cherchée décrit sur ce cercle et à partir de a_2 un angle égal à celui que A_2 décrit sur le sien à partir de $O A_1$.

En pratique, quand on ne cherche pas à analyser les détails des phénomènes, il suffit de connaître l'intensité en grandeur $\overline{A_1 A_2}$ et les puissances.

L'épure utile se réduit donc à celle de la figure 6, et on peut même se dispenser de tracer les deux cercles correspondant à la puissance P_1, puisque $P_1 = (- P_2) + \rho I^2$, c'est-à-dire une

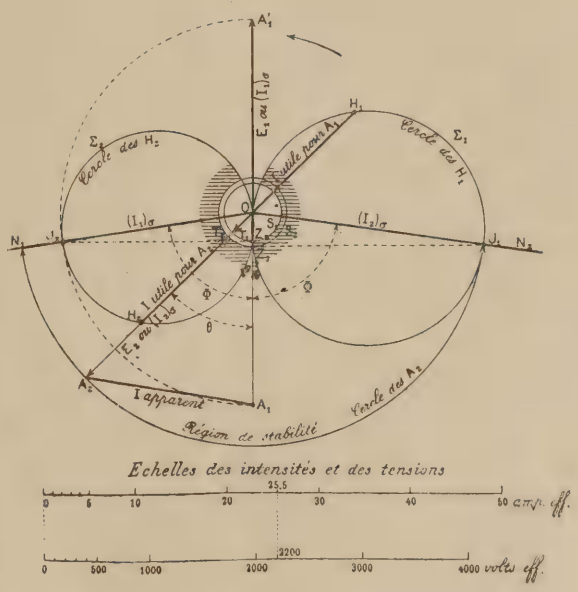


Fig. 6. — Couplage en transport de force.

somme de deux quantités connues à chaque instant (1).

2° *Réceptrice sur réseau à potentiel constant.* — Un réseau théorique à potentiel constant peut être assimilé à un alternateur de résistance et de self-induction négligeables à côté de celles de l'alternateur étudié, et ayant pour force électromotrice induite la tension de distribution.

Il suffit donc de faire dans les raisonnements précédents $\rho = r$ $\lambda = l$ et de prendre pour E_1 la tension de distribution donnée, en gardant pour E_2 la force électromotrice de l'alternateur étudié.

Projection de I_2 = — projection $\overline{O J_2}$ + projection $\overline{O a_2}$
$= - [(I_1)_\sigma \cos (\Phi - \theta) - (I_2)_\sigma \cos \Phi]$.

On voit ainsi que le segment H_2 T est compris entre un cercle de rayon $(I_2)_\sigma$ décrit autour du point O, et un autre cercle décrit sur le segment fixe $O J_2 = (I_1)_\sigma$ comme diamètre.

On démontrerait de même, et cela est évident du reste par symétrie, que la projection de I_1 sur E_1 sera représentée sur $O A_2$ par un segment compris entre un cercle décrit autour de O avec $(I_1)_\sigma$ pour rayon et un cercle ayant pour diamètre $O J_1 = (I_2)_\sigma$ (fig. 6).

En second lieu, quand le point A_2 se déplace sur son cercle, le point b correspondant décrit une autre circonférence ayant O pour centre. On en déduit par une transformation géométrique très simple que réciproquement le point B décrit un cercle de centre J_1 et que les points A_2 et B tournent toujours simultanément d'angles égaux sur leurs cercles respectifs,

(1) La convention pour les signes, qu'il importe essentiellement d'avoir présente à l'esprit, est la suivante : chaque segment est mesuré du point indiqué par sa première lettre, et situé sur les cercles S_1 et S_2, au point indiqué par la seconde et situé sur les cercles Σ_1 et Σ_2; ils sont positifs ou négatifs suivant qu'ils se trouvent ainsi dirigés dans le même sens que la direction $O A_2$ ou dans le sens opposé.

(1) On peut du reste représenter également la différence $P_1 - P_2 = \rho I^2$ à l'aide de deux cercles faciles à obtenir; mais cela n'a pas grand intérêt.

Le diagramme se construira donc exactement de la même manière que dans le cas précédent, en remplaçant seulement $(I_1)_\sigma$ et $(I_2)_\sigma$ par les intensités en court circuit

$$O J_1 = (I_2)_{cc} = \frac{E_2}{\sqrt{r^2 + m^2 l^2}} \qquad O J_2 = (I_1)_{cc} = \frac{E_1}{\sqrt{r^2 + m^2 l^2}}$$

et l'angle Φ par l'angle φ tel que $\operatorname{tang} \varphi = m \frac{l}{r}$.

Le rapport entre l'échelle des ampères et l'échelle des volts sera $\frac{1}{\sqrt{r^2 + m^2 l^2}}$, de sorte que la même longueur représentera d'après la première un courant, et d'après la seconde la chute de potentiel subie par ce courant dans l'induit de l'alternateur.

On pourra en général, pour les motifs indiqués déjà tout à l'heure, se dispenser de tracer les intensités en phases et les cercles relatifs à la puissance P_1 fournie par le réseau. L'épure polaire prend alors la forme excessivement simple de la figure 7.

3° *Couplage en parallèle.* — Deux alternateurs semblables A_1 A_2 ayant tous deux même résistance r et même self-induction l, couplés en parallèle sur un circuit extérieur de résistance R et de self-induction L, sont en réalité deux alternateurs couplés en série et shuntés par le circuit extérieur : les forces électromotrices sont donc opposées l'une à l'autre si on les mesure en suivant le circuit des deux armatures et se représenteraient encore (fig. 8) par les deux vecteurs $O A'_1$ et $O A_2$; si on les mesure au contraire dans le même sens par rapport au circuit extérieur utile, elles seront représentées par $O A_1$ et $O A_2$. C'est cette dernière convention qu'il y a lieu d'adopter de préférence. Le décalage θ est donc compté à partir de $O A_1$.

Le courant fourni par chaque machine est à chaque instant la somme algébrique de deux autres :

1° Le *courant utilisable* envoyé dans le circuit extérieur sous l'action d'une force électromotrice apparente égale à la moyenne géométrique résultante O D des deux forces électromotrices E_1 et E_2. Il est donc égal à celui que donneraient les deux alternateurs couplés en série sur un réseau d'impédance double de celle du circuit extérieur des alternateurs;

2° Le *courant synchronisant,* qui circule dans le circuit intérieur des alternateurs, en vertu de la différence des forces électromotrices induites à chaque instant, et qui s'annule lorsque ces deux forces électromotrices sont exactement en opposition, c'est à dire quand $\theta = 0$.

En utilisant simplement la remarque précédente, et en composant par les règles ordinaires les éléments des diagrammes relatifs à chacune

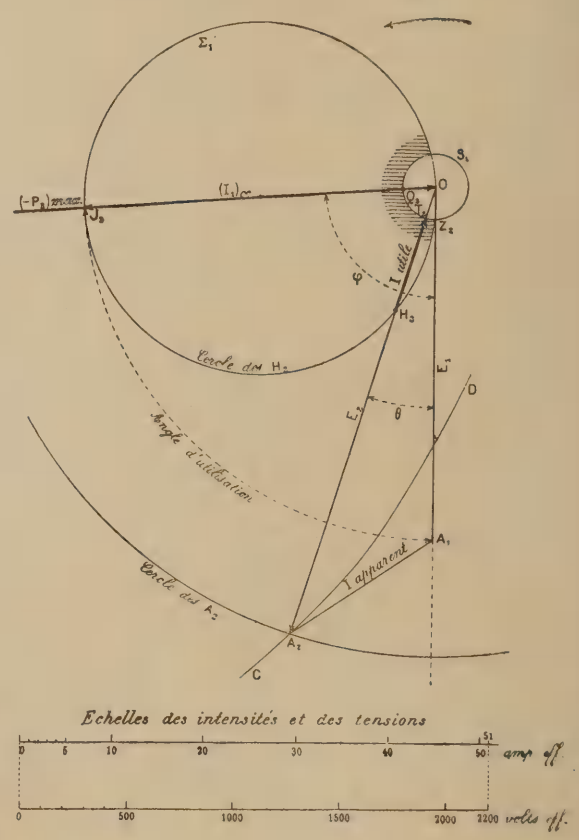


Fig. 7. — Electromoteur sur réseau à potentiel constant.

de ces intensités, on obtient l'épure polaire des puissances. Celle-ci comprend encore quatre cercles, comme dans le couplage en série; mais ceux-ci se réduisent à trois seulement lorsque les forces électromotrices sont égales. Comme je me place ici surtout au point de vue des applications pratiques, j'indiquerai seulement la construction relative à ce dernier cas et qui est la suivante.

Tracer la ligne $O J_2$ faisant avec $O A_1$ l'angle φ donné par l'équation $\operatorname{tang} \varphi = m \frac{l}{r}$, et égale à la

moitié de l'intensité I_{cc} que donnerait chaque alternateur fermé en court circuit sur lui-même avec la même excitation. Au point J_2, tracer un nouveau segment $K_2 W_2$ faisant avec la direction $O A_1$ l'angle ψ, tel que $\tan g\, \psi = m \frac{2L + l}{2R + r}$, et dont la longueur, partagée en son milieu par J_2, soit égale à l'intensité I_e que doit fournir chacun des alternateurs au circuit extérieur, quand ils sont en coïncidence de phase. Sur la résultante $O K_2$ et sur sa symétrique $O K_1$ comme diamètres, construire deux cercles Γ_1 et Γ_2, et décrire la circonférence C, ayant pour rayon la projection $\overline{Ow}$ de $O K W_2$ sur $O A_1$. Toute

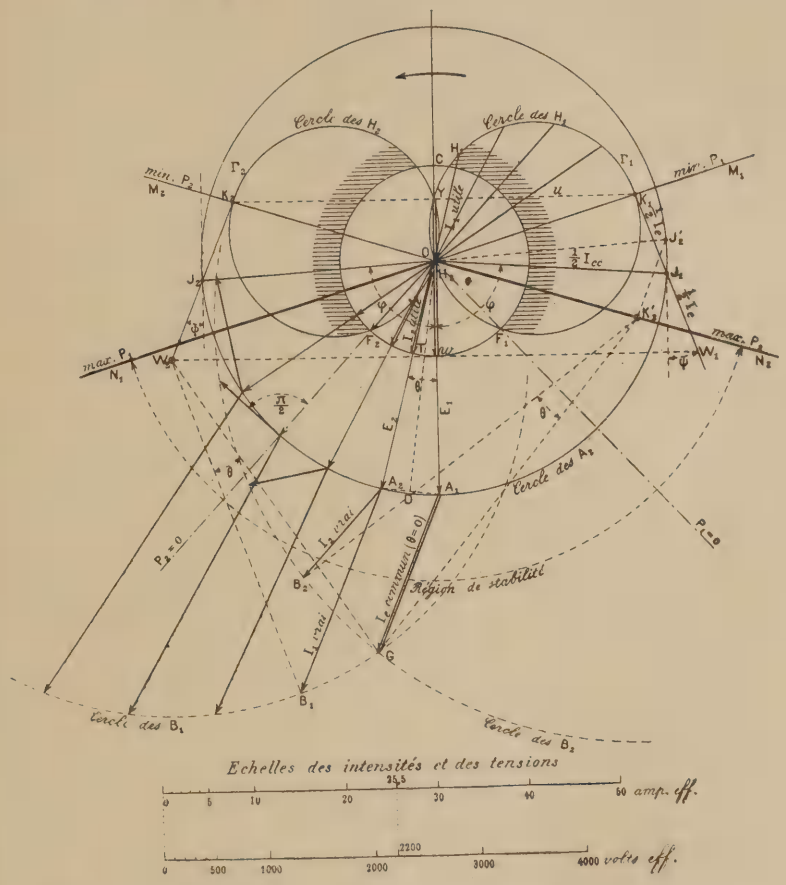


Fig. 8. — Couplage de deux alternateurs en parallèle; épure des puissances et des intensités.

ligne $O A_2$, correspondant à un décalage θ, coupera les trois cercles en trois points H_1, H_2 et T, et les segments $\overline{H_1 T}$ et $\overline{H_2 T}$ représenteront les deux intensités utiles.

On aura donc

$$P_1 = E \times \overline{H_1 T} \quad \text{et} \quad P_2 = E \times \overline{H_2 T}$$

Le diagramme ne diffère, comme on le voit, de celui des deux alternateurs de même force électromotrice couplés en série que par l'introduction des segments $\overline{K_1 W_1}$ et $\overline{K_2 W_2}$, représentant le courant extérieur. Celui-ci ne modifie donc que d'une façon progressive les propriétés du couplage en série, et, en particulier, la possibilité pour l'alternateur en retard de fonctionner en réceptrice à partir de la direction $P_2 = o$.

Si l'on s'occupe maintenant des intensités I_1 et I_2 fournies par chacun des alternateurs, on démontre aisément que, pour tout décalage $\theta = A_1 O A_2$, les extrémités B_1 et B_2 des vecteurs $\overline{A_2 B_1}$ et $\overline{A_2 B_2}$ sont sur deux cercles ayant pour centres les points W_2 et K'_2 (symétriques de K_2 par rapport à O), et que les points B_1 et B_2 tournent, sur leurs cercles respectifs et à partir du point commun G, du même angle θ dont A_2 tourne à partir de A_1. Ce point G, qui corres-

pond évidemment au cas où les deux alternateurs sont en coïncidence de phase, s'obtient en portant à partir de A_1 un vecteur $\overline{A_1 G} = I_c$, faisant l'angle ψ avec la direction E_1.

On peut donc construire *a priori* les deux cercles et tracer facilement les intensités pour toute valeur de l'angle θ (1).

L'épure de la figure 8 montre comment varient les intensités I_1 et I_2, suivant les différences de phases; on voit que celle de l'alternateur en avance I_1 augmente avec θ plus rapidement que l'autre I_2 ne diminue ; en même temps, le décalage de I_1 à partir de E_1 augmente lentement, tandis que I_2 se décale très rapidement, non seulement par rapport à E_1, mais encore par rapport à E_2 ; il en résulte que I_2 est déjà en avance de $\frac{\pi}{2}$ sur E_2 au moment où P_2 s'annule (c'est même pour cela que $P_2 = 0$), tandis que le décalage de I_1 a très peu changé.

Ces variations d'intensité et de décalage peuvent jouer un rôle assez important dans les alternateurs à fer, par suite des variations corrélatives de la self-induction.

4° *Génératrice sur réseau à potentiel constant.* — Il est facile d'établir le diagramme du cou-

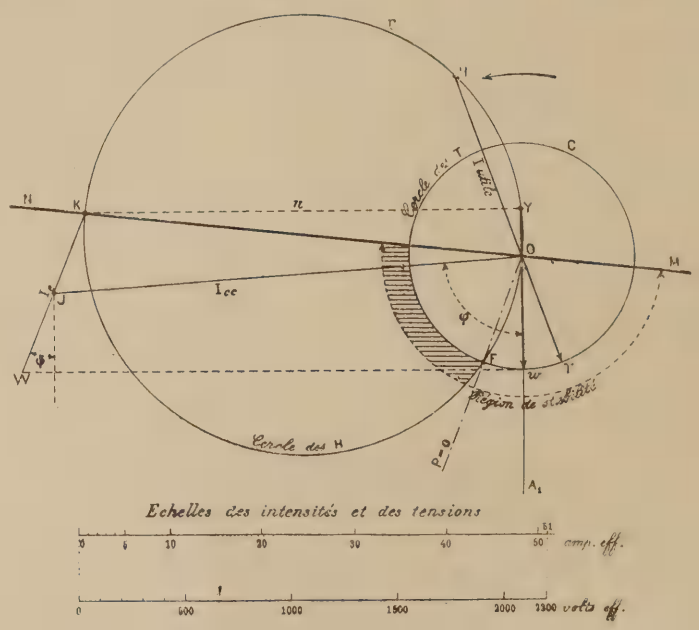


Fig. 9. — Génératrice sur réseau à potentiel constant; épure des puissances.

plage en parallèle d'un nombre quelconque d'alternateurs, en supposant qu'un d'entre eux seulement subit un décalage par rapport aux autres.

Je ne reproduis pas ici la construction générale, j'indique seulement le cas limite où le nombre des alternateurs est assez grand pour qu'on puisse le considérer comme infini. L'épure de puissance est alors celle de la figure 9, qui diffère de celle de l'électromoteur par l'addition du segment $K_2 W_2 = I_2$.

Le lieu des extrémités B des intensités I serait encore un cercle ayant K comme centre et qui n'est pas tracé sur la figure.

(*A suivre.*)

(1) J'ai donné ailleurs un autre procédé encore plus simple qu'on peut employer dans le cas où l'on désire seulement connaître les intensités en grandeur et non en phases.

SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE DE BERLIN

Séance du 21 octobre 1892.

MM. W. Jæger et *D. Kreichgauer* présentent les résultats de leurs expériences sur le *coefficient de température du mercure.*

Puis *M. H. Arons* communique ses observations sur un *arc à électrodes de mercure.*

S'étant occupé d'expériences sur la décharge

dans les gaz, il a trouvé une méthode très simple pour produire un arc très brillant et de longue durée entre des électrodes de mercure, en se servant de forces électromotrices relativement faibles.

Dans la plupart des cas on ses servi de tubes de verre en U de 2 centimètres de diamètre et environ 6 centimètres de longueur de branches; les branches étaient fermées et munies de fils de platine soudés dans le verre. A la courbure était soudé un tube de verre plus étroit, courbé comme le tube de sûreté des appareils à dégagement de gaz et finissant par un tube en T. Par ce dernier, l'appareil pouvait être mis en communication d'une part avec la pompe à mercure, d'autre part avec un appareil à dégagement de gaz, un manomètre, etc.

Le mercure remplissait les branches presque jusqu'au niveau de la courbure, de sorte que les deux ménisques étaient séparés par un intervalle de 3 à 4 centimètres. Après avoir raréfié l'air jusqu'à la pression voulue, le tube de sûreté était rempli de mercure, de façon que l'on eût un petit manomètre qui indiquait toute variation de pression à l'intérieur de l'appareil.

Le courant est amené par les deux fils de platine; comme il s'agit d'intensité jusqu'à plus de 10 ampères, il fallait protéger le point de soudure des fils contre tout échauffement dangereux; à cet effet les branches du tube en U plongeaient dans des godets à mercure mis en relation avec la source d'électricité. L'appareil ainsi constitué, une véritable lampe, était monté sur un support.

L'arc s'amorce lorsqu'on secoue l'appareil de façon à amener un contact momentané entre les deux colonnes de mercure.

Le tableau suivant donne une série d'expériences, dans laquelle la pression était inférieure à un millimètre :

Ampères.	11	9	7	5,5	3	2	1.4	0,8	0,5
Volts.....	17,5	17	16,5	16	15,3	14	20	28	40

L'intensité de 1,4 ampère ne pouvait être obtenue qu'après avoir fait passer auparavant des courants plus intenses qui, en produisant des vapeurs de mercure, avaient élevé légèrement la pression. Pour les courants encore plus faibles les mesures sont peu sûres.

Pour toutes les intensités supérieures à 1,4 ampère toute la section du tube est remplie d'une lumière gris-clair très intense. Dans les premières secondes seulement, on voit se déplacer sur la cathode une tache lumineuse verte, au-dessus de laquelle se trouve un espace obscur. Mais même celui-ci disparu la tache lumineuse subsiste.

Quoique l'impression lumineuse soit continue, la décharge est discontinue; on peut s'en rendre compte au moyen du téléphone. Une conséquence de cette discontinuité est qu'il faut employer des forces électromotrices près de trois fois supérieures à la différence de potentiel aux électrodes. Contrairement à ce qui a lieu dans l'arc ordinaire, la cathode est ici plus chaude que l'anode.

La présence de divers gaz ne change pas beaucoup ces conditions, mais la température est plus élevée parce que l'arc ne remplit plus la section entière du tube; il se localise dans une bande lumineuse étroite. En employant de l'amalgame de zinc, ou en jetant sur le mercure des parcelles d'aluminium, l'échauffement était tellement considérable que le verre de l'appareil fondait. L'amalgame de sodium donna d'autres résultats : la décharge était aussi discontinue, mais dans ce cas c'était l'anode qui se trouvait à la plus haute température. On pouvait aussi descendre très facilement à de plus petites intensités de courant :

Ampères.	6	5	2,6	1,6	0,9	0,6
Volts....	10	10	10,5	12	18	20

Les lignes spectrales du sodium sont le plus intenses à la cathode; le courant de 0,6 ampère ne devenait continu que lorsque les lignes du sodium avaient disparu à l'anode.

M. Arons a examiné plus exactement le spectre de l'arc à mercure. L'énergie de vibration des longueurs d'onde caractéristiques doit être énorme, si l'on considère que l'arc est excessivement brillant. Au moyen d'un réseau de Rutherford, outre les lignes trouvées par Kayser et Runge, il a en obtenu un grand nombre d'autres dans le vert et l'orangé. Le tableau contient les résultats des mesures en unités Angstrœm, 20 nouvelles lignes ont été ajoutées aux 13 trouvées par Kayser et Runge.

La pureté du spectre ne semble dépendre que de celle du mercure, les gaz étrangers étant exclus, et le verre ne s'échauffant que très peu.

Tableau des lignes spectrales de l'arc à mercure.

I. Longueur d'onde en unités Angstrœm ; II. Désignation de l'intensité (1 — 6) ; III et IV, mêmes indications, d'après Kayser et Runge.

I	II	III	IV
6234	2	—	—
6123	3	—	—
6072	4	—	—
5889	5	—	—
5858	5	—	—
—	—	5819,1	6
5808	3	5804,3	5
5792	1	5790,5	1
5787	4	—	—
5775	4	—	—
5771	1	5769,5	1
5754	3	—	—
5739	6	—	—
5677	4	—	—
5477	3	—	—
5461	1	5461,0	1
5446	3	—	—
5431	3	—	—
6366	4	5365,3	6
5355	3	—	—
5316	4	—	—
5122	4	—	—
5103	5	—	—
5047	4	—	—
5027	4	—	—
4961	5	4959 7	5
4916	1	4916,4	3
4370	5	—	—
4359	1	4358,6	1
4347	3	4347,6	2
4338	4	4339,5	4
4074	3	4078,1	2
4043	2	4046,8	3

On peut d'ailleurs plonger tout l'appareil dans l'eau. Dans ces conditions, la lampe peut fonctionner pendant des heures avec 9 à 10 ampères. La température à l'intérieur de l'arc n'est pas excessivement élevée. En tout cas un thermomètre à mercure introduit dans l'arc n'atteignait qu'au bout de trois minutes la température d'ébullition du mercure.

A. H.

L'effet des harmoniques sur la transmission de l'énergie par les courants alternatifs, par H. A. Rowland [1].

J'ai montré en juillet dernier [2] qu'un transformateur à noyau de fer introduit dans les courants et les forces électromotrices primaires et secondaires des harmoniques dont les périodes sont 3, 5, 7, etc. fois la période fondamentale, et que ces harmoniques augmentent de valeur quand le fer est de plus en plus aimanté.

Je voudrais appeler l'attention sur l'effet de ces harmoniques dans la transmission de l'énergie et dans sa mesure. Pour l'éclairage, cette question est de peu d'importance, puisque les courants de toutes périodes sont également efficaces dans la production de la chaleur. Mais il se produit une perte de chaleur dans les fils et dans le fer des transformateurs.

Pour la transmission de l'énergie, le cas est différent. Les moteurs sont établis pour tourner à des vitesses dépendant de la période ; lorsqu'on se trouve en présence de plus d'une période la régulation ne peut plus avoir lieu, et il se produit une perte. Les harmoniques ne produisent pas de travail utile, tout en chauffant les fils et le fer. Elles ne représentent donc presque qu'une perte et peuvent constituer 10, 20, 30 ou 40 o/o du courant, selon l'aimantation du transformateur ; c'est à leur présence qu'est probablement due la diminution du rendement que l'on observe dans beaucoup de cas. Je crois, en effet, qu'elles sont l'explication de beaucoup de mystères dans le fonctionnement des moteurs à courants alternatifs. On peut disposer des condensateurs avec des bobines pour séparer ces harmoniques, devenant alors plus importantes que la période originale. C'est un cas qui peut se présenter accidentellement et produire beaucoup de résultats curieux dans le fonctionnement des moteurs.

Il est donc important dans la transmission de l'énergie que les courbes soient des sinusoïdes parfaites, et les dynamos, les transformateurs et les moteurs devront être à l'avenir établis en tenant compte de ce point. Il semblerait aussi que la plupart des calculs relatifs au rendement de la transmission de l'énergie par courants alternatifs soient faux, à moins qu'ils ne tiennent compte de l'action des harmoniques.

Il est en général difficile d'apprécier la grandeur de la perte due à cette cause. Dans les moteurs synchrones, les harmoniques circulent dans les fils sans produire du courant utile ; mais la perte ne sera pas considérable si la résistance est faible. En effet, la perte dépend de la différence de phase entre le courant et la force électromotrice dans les harmoniques. Dans

[1] *Electrical World*, 10 décembre 1892.
[2] *La Lumière Électrique*, t. XLV, p. 194.

le cas des moteurs à champ tournant, les harmoniques produisent des champs tournant avec une vitesse 3, 5, 7, etc. fois plus grande que le champ primaire. Or, il est essentiel pour le rendement de ces moteurs que l'armature tourne presque aussi rapidement que le champ ; pour les harmoniques, le rendement doit donc être très faible et doit diminuer le rendement du système entier.

L'effet des harmoniques sur l'hystérésis est beaucoup plus compliqué, et ne pourra guère être calculé qu'après de nouvelles expériences. Toutefois, les hypothèses suivantes peuvent donner une idée des actions en jeu.

Prenons la force électromotrice primaire pour unité et appelons a_3, a_5, etc. les forces électromotrices des harmoniques. Si celles-ci agissaient séparément sur l'hystérésis, le total serait

$$1 + 3\,a_3^{1,6} + 5\,a_{51,6} + \ldots\ldots$$

D'autre part, si la combinaison était telle que la force électromotrice maxima fût égale à la somme de toutes les forces, l'hystérésis serait approximativement

$$(1 + a_3 + a_5 + \ldots\ldots)^{1,6}.$$

Mais il est peu probable que cette dernière condition puisse être souvent réalisée, et la formule donnerait en général une valeur trop grande. Lorsque les harmoniques sont de peu de valeur, cette dernière formule peut s'écrire d'une façon approchée

$$1 + 1,6\,(a_3 + a_5 + \ldots\ldots).$$

Comme exemple supposons $a_3 = 0,3$, $a_5 = 0,2$ et $a_7 = 0,1$; les deux formules donnent

$$+ 3\,a_3^{1,6} + 5\,a_5^{1,6} + 7\,a_7^{1,6} = 1 + 0,44 + 0,38 + 0,18 = 2,00$$
$$1 + 1,6\,(a_3 + a_5 + a_7) = 1,96.$$

Il est curieux de constater que les deux formules concordent dans ce cas spécial en élevant l'hystérésis jusqu'au double de celle due au courant primaire. L'échauffement dû au courant est

$$1 + a_3^2 + a_5^2 + \ldots\ldots$$

ou, dans l'exemple considéré,

$$1 + 0,09 + 0,04 + 0,01 = 1,14.$$

Il semblerait donc que la perte par hystérésis puisse être augmentée considérablement par les harmoniques, tandis que l'échauffement dû à la résistance n'augmenterait que faiblement. Je crois que l'on a affirmé que la forme de la courbe n'intervient pas dans l'hystérésis. C'est évidemment incorrect, à moins que nous ne raisonnions que sur les points les plus élevés des courbes, auquel cas nous revenons à la seconde hypothèse, si les harmoniques sont de la phase voulue.

Pour évaluer l'influence de ces effets sur le rendement d'une installation, supposons que le rendement de la dynamo et du moteur synchrone avec des courants primaires soit de 90 o/o, celui des deux transformateurs de 93 o/o, et que tous les courants aient les mêmes harmoniques que ci-dessus. Le rendement total sera de 70 o/o. En ajoutant les harmoniques, et si les 30 o/o de perte étaient dus moitié à l'hystérésis, moitié à la résistance du fil, le rendement serait abaissé jusqu'à 60 o/o. Ces nombres peuvent ne pas être absolument exacts, mais il montrent que le sujet mérite d'être sérieusement étudié. D'ailleurs, quelque faible que soit la perte, elle peut prendre de l'importance, en ce sens que l'échauffement qu'elle entraîne limite la puissance des transformateurs et des moteurs.

La conclusion pratique semble être que les transformateurs et les armatures de dynamos à employer dans la transmission de l'énergie doivent être établis pour de faibles aimantations. Par des expériences avec les transformateurs, je trouve une très grande déformation des courbes lorsque l'induction dépasse 12 000 lignes par centimètre carré, tandis que les courbes sont relativement régulières avec une induction de 5 000 ; je ne crois donc pas qu'il soit bon de dépasser plus de 5 000 pour les transformateurs, même quand on emploie de faibles fréquences. Quant aux dynamos et moteurs, la limite dépendra de la disposition de la machine, et peut être très élevée dans les bons types.

La fixation de la limite de l'induction magnétique à 5 000 pour les transformateurs a pour effet de faire varier la puissance pour un courant donné proportionnellement à la fréquence. Pratiquement, comme il faut tenir compte des dimensions relatives du fil et du fer, nous pouvons admettre pour un transformateur ordinaire que la charge varie comme la puissance 8/10 de la fréquence.

L'énorme volume qu'il faudrait donner aux

transformateurs si l'on voulait éviter la déformation des courbes exclut l'emploi de très faibles fréquences.

Il faut remarquer que l'action du fer dans la production des harmoniques s'exerce directement sur la force électromotrice, et l'intensité du courant dépendra de la résistance et de la self-induction du circuit. La résistance sera, par suite du « skin effect », plus grande pour les harmoniques que pour la période fondamentale. La self-induction dépendant de l'air diminuera toujours les harmoniques, tandis que lorsqu'elle est due au fer, elle peut les augmenter ou les diminuer selon leur phase.

La mesure de l'énergie transportée par un courant alternatif devient aussi très compliquée en présence des harmoniques.

Prenons un courant de la forme

$$I = A_1 \sin(bt + \Phi_1) + A_3 \sin(3bt + \Phi_3) + A_5 \sin(5bt + \Phi_5) + \ldots$$

et une force électromotrice

$$E = B_1 \sin bt + B_3 \sin(3bt + \Psi_3) + B_5 \sin(5bt + \Psi_5) + \ldots\ldots$$

L'énergie transmise est alors, par unité de temps,

$$\int_0^1 I\,E\,dt = \frac{1}{2}\pi \int_0^{2\pi} I\,E\,d(bt).$$

Si n est le nombre de périodes complètes dans le terme primaire, alors $b = 2\pi n$ et la puissance devient

$$\frac{1}{2}\left[A_1 B_1 \cos\Phi + A_3 B_3 \cos(\Phi_3 - \Psi_3) + A_5 B_5 \cos(\Phi_5 - \Psi_5) + \ldots\right]$$

Un wattmètre ordinaire, sous la forme d'un électrodynamomètre à bobines non inductives, donnerait la valeur exacte de cette quantité; mais il serait incorrect de multiplier la force électromotrice moyenne par le courant et le cosinus de la phase, à moins que cette opération soit effectuée pour chaque harmonique séparément.

Notons que l'introduction de condensateurs pour équilibrer la self-induction ne sera efficace que pour une seule période. Un grand nombre de résultats obtenus jusqu'ici par divers observateurs devront être modifiés en présence de ces armoniques. Il semble donc que la transmission du courant pour l'éclairage est un problème tout différent de la transmission de la force motrice. Rappelons que dans l'expérience Francfort-Lauffen on a surtout transmis du courant pour éclairage, et qu'un certain mystère entoure les essais relatifs aux moteurs. La présence des harmoniques a-t-elle joué un rôle dans cette question?

A. H.

BIBLIOGRAPHIE

L'induction magnétique dans le fer et les métaux (*Magnetic induction in iron and other metals*), par M. Ewing.

La science du magnétisme est peut-être la partie de la physique qui nous offre l'exemple le plus frappant d'un sujet dont l'étude mathématique était à peu près stérile, tandis que la recherche expérimentale donnait des résultats d'une étendue extraordinaire. Le fait vulgaire de l'aimantation résiduelle, étudié en détail, a conduit à la notion fondamentale d'hystérésis qui domine actuellement tout le magnétisme. A côté de ce résultat essentiel, l'expérience a fourni les données les plus intéressantes sur l'effet des diverses actions mécaniques de la chaleur, etc. Il faut d'ailleurs reconnaître que le développement de l'industrie électrique, la multiplication des dynamos et des moteurs ont puissamment contribué à développer ces recherches expérimentales. Tel phénomène que la théorie n'expliquait pas, et par suite négligeait, influe notablement sur le rendement d'une machine, et l'étude complète en devient nécessaire. Entreprise par des hommes qui savent allier les préoccupations industrielles aux spéculations purement scientifiques, cette étude devient particulièrement fructueuse à tous les points de vue.

Sans médire de nos ingénieurs et de nos savants français, il faut bien reconnaître que c'est surtout en Angleterre que ces hommes se rencontrent; M. Ewing est actuellement un des plus brillants d'entre eux, et les immenses progrès qu'il a fait accomplir à la science du magnétisme le désignait tout particulièrement pour établir le bilan des connaissances acquises. C'est ce qu'il vient de faire dans un petit livre très substantiel où il expose l'état actuel de la science; il nous prévient d'ailleurs que nous n'avons point à chercher dans son travail l'his-

torique de la question; il se borne aux résultats tels que nous les possédons. Cela ne veut pas dire qu'il ne rende pas hommage à ses devanciers et qu'il veuille s'attribuer tout la mérite de certaines recherches; au contraire, par une modestie qu'on trouvera peut-être excessive, il ne rappelle même pas que c'est à lui qu'est dû le nom d'*hystérésis*. Le livre se termine par l'exposé de cette admirable reproduction des phénomènes d'aimantation que tout le monde a admise dès son apparition; c'est une *théorie expérimentale*, une façon de rendre compte des phénomènes par une image simple en principe, quoique l'étude mathématique en soit extrêmement complexe, qui rappelle le mot de Fresnel : « La nature ne s'est pas préoccupée des difficultés d'analyse; elle n'a évité que la complication des moyens. »

Nous espérons que ce livre ne tardera pas à se répandre en France, et contribuera à faire entrer dans l'enseignement les résultats nouveaux de la science magnétique, trop ignorés dans notre pays. Il y a un seul point que nous voudrions signaler et sur lequel l'auteur ne s'est pas exprimé avec toute la netteté désirable au point de vue didactique; dans le chapitre I, il eût été bon d'insister sur le fait qu'il y a *réfraction* des lignes d'induction à la surface du fer; la phrase : « Il n'y a pas de discontinuité dans les lignes d'induction quand elles entrent dans le métal ou qu'elles en sortent » ne doit s'entendre que *du nombre* de lignes et non de leur direction. La notion d'induction magnétique n'est pas une notion expérimentale; il importe de ne pas oublier les conditions auxquelles l'astreint la théorie.

C. R.

Leçons sur l'Électricité et le Magnétisme, par Duhem, charge de cours à la Faculté des Sciences de Lille, Gauthier-Villars, 1891-1892.

Depuis le commencement de ce siècle, mathématiciens et physiciens se sont attachés à éclaircir les divers points de l'électricité, et grâce à leurs efforts combinés l'électricité est devenue aujourd'hui la branche la plus étendue de la physique. Malheureusement, leurs nombreux mémoires, écrits dans toutes les langues, disséminés dans toutes les revues, sont difficiles à consulter; de plus, les notations, la manière de penser et de s'exprimer changeant de l'un à l'autre, il est souvent impossible, toujours fort difficile, de les relier entre eux. Réaliser la synthèse de tous ces travaux, donner « un exposé aussi un, aussi logique que possible des théories sur l'électricité et le magnétisme », tel est le but que s'est proposé M. Duhem.

Une telle entreprise nécessite de grands développements; aussi, tout en éliminant de son ouvrage les descriptions expérimentales, M. Duhem a-t-il dû y consacrer trois gros volumes d'environ cinq cents pages chacun.

Le premier, qui a pour titre *Les corps conducteurs à l'état permanent*, comprend six livres. L'étude mathématique de la *fonction potentielle* est approfondie dans le premier livre. Revenant à la définition de Gauss, M. Duhem désigne sous le nom de fonction potentielle la fonction dont les dérivées partielles donnent, avec des signes contraires, les composantes de la force en un point; il réserve le nom de *potentiel électrostatique* à la fonction appelée ordinairement énergie électrostatique. Un chapitre de ce livre est consacré au rappel de quelques principes de mécanique; ce chapitre est loin d'être inutile, car on oublie trop souvent les conditions restrictives qui limitent l'application de ces principes quand on en fait usage en physique mathématique.

Le second livre traite de la distribution de l'électricité sur les corps conducteurs, au point de vue théorique. L'important problème de Lejeune-Dirichlet y est étudié sous toutes ses faces. La méthode de l'inversion et son application à la recherche de la distribution sur deux sphères, la méthode de Carl Neumann, la méthode de Murphy sont clairement et longuement exposées. L'étude expérimentale de la distribution fait l'objet du troisième livre.

Dans le quatrième nous trouvons l'exposé de la théorie du *potentiel thermodynamique*, que M. Duhem a su rendre si féconde en l'appliquant aux branches les plus diverses de la physique. Donner à nos lecteurs une idée, même sommaire, de cette importante théorie nous entraînerait forcément au-delà des limites qui nous sont assignées; nous y reviendrons prochainement en un autre endroit.

Le cinquième livre, un des plus importants et des plus étendus du volume, est une application du potentiel thermodynamique à l'étude des propriétés des *conducteurs métalliques homogè-*

nes et hétérogènes. Nous y trouvons plusieurs chapitres des plus intéressants sur les différences de potentiel au contact, les phénomènes thermo-électriques, les effets Peltier et Thomson.

L'application de la thermodynamique aux *électrolytes* et plus particulièrement aux piles hydro-électriques forme le sixième et dernier livre du premier volume.

Dans le second volume, intitulé *Les aimants et les corps diélectriques*, les travaux personnels de l'auteur trouvent une place encore plus large que dans le premier. Après l'étude des *forces magnétiques,* qui fait l'objet du livre VII, M. Duhem aborde *l'aimantation par influence selon la théorie de Poisson,* sur laquelle il avait déjà publié une étude historique dans les *Annales* de la Faculté de Toulouse. Il passe ensuite à la *théorie thermodynamique de l'aimantation par influence*, où nous trouvons, développés et complétés, les raisonnements et les résultats exposés dans la thèse de doctorat de l'auteur. Le livre X est consacré à *l'aimantation des corps cristallisés.*

L'étude de l'aimantation par influence conduit naturellement l'auteur à celle de la polarisation des diélectriques. Après avoir indiqué succinctement comment la théorie de Poisson sur l'aimantation peut s'appliquer aux diélectiques, M. Duhem développe l'application du potentiel thermodynamique à ces corps, et consacre deux chapitres aux cristaux pyro-électriques et picro-électriques. Il termine par *les déformations des corps polarisés,* qui forment le livre XII.

Dans les deux premiers volumes, l'auteur s'est efforcé de suivre, au moins dans ses grandes lignes, l'ordre généralement adopté dans les ouvrages classiques. Dans le troisième, consacré à l'étude des courants, M. Duhem rompt complètement avec l'ordre traditionnel qui veut que l'électrodynamique proprement dite précède l'étude de l'induction. Ce dernier ordre présente l'avantage de suivre à peu près l'ordre historique des découvertes, l'induction n'ayant été observée qu'en 1831, cinq ans après qu'Ampère eut publié son grand *Mémoire sur les phénomènes électrodynamiques*, mais au point de vue théorique il présente plusieurs inconvénients, que M. Duhem développe dans un des chapitres de ce volume. Le plus grave est l'impossibilité de déduire rigoureusement les lois de l'induction de celles de l'électrodynamique au moyen des principes de la thermodynamique. Sans doute on objectera qu'il est partout enseigné, que Helmholtz et Thomson y sont parvenus. En réalité, ainsi que le montre M. Duhem, le raisonnement de ces physiciens pèche par la base, et suppose implicitement une hypothèse, dissimulée par la brièveté et l'obscurité de l'exposé, qu'il est difficile d'admettre dès le début du raisonnement.

Pour ces raisons, l'auteur, après une introduction mathématique sur les intégrales curvilignes et la géométrie de position, débute par l'étude de *l'induction dans les circuits linéaires* (livre XIII) et en déduit *les forces électrodynamiques entre courants linéaires,* qui forment la matière du livre XIV. Le livre suivant, consacré aux *courants uniformes* circulant dans des conducteurs de forme quelconque, est suivi d'un appendice sur les *unités électriques.* Enfin *les actions qui s'exercent entre les aimants et les courants quelconques* constituent le livre XVI et dernier.

Quelques notes terminent l'ouvrage. Signalons seulement celle où M. Duhem discute les objections que M. Poincaré, dans sa *Thermodynamique,* fait à la théorie des phénomènes thermo-électriques de l'auteur, et celle où il signale, comme une confirmation de la théorie thermodynamique de la pile, les expériences de M. Gilbaut qui ont été décrites dans ce journal (t. XLII, p. 7 et 63).

Autant qu'on peut en juger par cette analyse, nécessairement écourtée, M. Duhem est parvenu à atteindre le but qu'il s'était proposé. Bien des points secondaires ont déjà soulevé et soulèveront certainement encore des critiques. Mais il faut reconnaître que la tâche entreprise était hérissée de difficultés et que les critiques, loin d'amoindrir l'ouvrage, en rehaussent la valeur. L'ouvrage est et restera un monument remarquable de la science française; aussi en conseillerons-nous l'étude approfondie à ceux qui veulent perfectionner leurs connaissances théoriques.

Terminons en remerciant les éditeurs de n'avoir rien négligé pour rendre l'ouvrage agréable à l'œil et facile à lire, malgré la complexité des notations; de nous avoir donné, en un mot, une édition de luxe.

J. Blondin.

FAITS DIVERS

Les nouvelles qui nous viennent de Chicago prouvent que les organisateurs de la « Foire du Monde » ont à cœur de ne pas manquer aux promesses faites. On sait que les constructions avancent très rapidement; il est vrai que plusieurs de ces constructions, un peu hâtivement poussées, ont donné quelques ennuis. Avant même que le public ne soit admis à les admirer, certains bâtiments devront subir des réparations; mais on nous assure que le jour de l'ouverture de l'Exposition tout sera prêt, et qu'au point de vue de la sécurité les exposants auront toutes les garanties désirables,

Deux questions importantes relatives au « World's Fair » ont été l'objet de nombreuses discussions. Le Comité directeur avait dû annoncer que l'Exposition n'ouvrirait pas ses portes le dimanche; cette mesure avait été prise sous la pression d'une minorité assez considérable de citoyens jugeant contraire aux principes chrétiens, et peut-être immorale, toute atteinte au repos dominical. Mais on s'est demandé ce que feraient le dimanche les personnes venues de loin pour visiter l'Exposition. A cette question, la réponse n'est pas encore trouvée, puisque jusqu'à ce jour la mesure en question n'a pas été annulée; on attend pour cela une décision du Congrès.

Mais ce qui avait mis les électriciens dans la consternation était le projet de fermer l'Exposition à la tombée de la nuit, ce qui était condamner tout éclairage artificiel. Cette question est heureusement résolue, et nos ingénieurs pourront déployer et déploieront sur l'échelle la plus vaste toutes les ressources artistiques et autres de l'éclairage électrique.

Nous avons déjà donné dans nos Faits divers quelques nombres relatifs à ces expositions d'électricité. Ajoutons que le groupe décoratif qui représente l'électricité dans l'industrie est d'une très remarquable exécution. On y voit figurer le téléphone, le télégraphe, la lampe à arc, la dynamo, etc.

Pour faciliter les installations dans le bâtiment consacré à l'industrie des transports, un pont roulant de grande puissance fonctionne tous les jours. Cet engin sera lui-même exposé jusqu'à ce qu'après l'Exposition il serve de nouveau au déblayage du terrain. Il est actionné par un moteur Thomson-Houston de 30 chevaux et se déplace avec une vitesse de 100 à 150 mètres par minute, réglée par un seul homme.

On a d'ailleurs l'intention d'installer encore six ponts roulants électriques dans les autres bâtiments.

On a procédé à New-York à une nouvelle électrocution dans laquelle le patient a perdu comme toujours instantanément la sensibilité, mais où de plus la rigidité cadavérique a été réalisée dès le premier contact. Un second a été donné par simple prudence. Voici jusqu'à présent le résumé des résultats constatés :

Kemmler, après le premier contact, qui a duré 17 secondes, avait encore des mouvements de la poitrine et des pulsations de l'artère radiale. Les mêmes effets ont été constatés sur Sloenn après une application de 27 secondes; sur Smiler, les mouvements du pouls ont persisté après trois contacts de 10 secondes chacun. Pour abolir cet effet, on a été obligé de donner un quatrième contact de 15 secondes. Sur Wood, on n'a observé aucun mouvement, mais après trois contacts de 20 secondes; sur Jugigo, il a été constaté encore, après un troisième contact de 15 secondes, de très légères pulsations qui ont disparu subitement, de manière que l'on n'a point jugé nécessaire de procéder à une quatrième application. Pour Mac Eliame, on a employé deux contacts, l'un de 50 secondes et l'autre de 36.

Le conseil municipal du Havre a décidé dans sa séance du 10 décembre d'autoriser l'administration municipale à introduire, au nom de la ville du Havre, la demande de concession des lignes électriques projetées: de l'autoriser également à céder à M. Pierre Burton, au nom qu'il agit, aux conditions et sous les réserves indiquées au traité de rétrocession, l'entreprise d'établissement et d'exploitation des dites lignes, et de l'inviter à remplir avec la plus grande célérité les nombreuses formalités auxquelles est soumise l'instruction des affaires de cette nature.

Cette ligne, partant de la jetée du Havre pour aboutir à la grande place de Montivilliers, serait divisée en cinq zones, tarifées 15 et 10 centimes par zone. Il y aurait des billets d'aller et retour avec réduction de 10 o/o pour une zone; 15 o/o pour deux et 20 o/o pour trois zones et au-dessus. Les départs auraient lieu toutes les cinq minutes de l'intérieur de la ville, et toutes les vingt minutes en été, trente minutes en hiver dans la partie extra-urbaine. Le concessionnaire paiera à la ville une redevance annuelle de 6000 francs. La concession n'implique pas monopole.

A la nouvelle que des tramways électriques étaient à la veille d'être établis au Havre par une société locale, M. Berthier, président du conseil d'administration de la société d'éclairage l'Energie électrique, a réclamé de la Ville de faire respecter par la nouvelle entreprise de tramways son droit de lui fournir la force électrique, par privilège exclusif. La lettre a été transmise à la commission spéciale, avec cette observation du maire que la société l'Énergie électrique se fait des illusions sur l'étendue de ses droits.

Sur la demande de la municipalité de Rotterdam, les directeurs des travaux communaux, de l'usine à gaz municipale et des chambres de commerce ont invité les mai-

sons d'électricité à leur faire des offres au sujet de l'établissement d'une station d'électricité pour l'éclairage de la ville, et la fourniture de la force motrice aux grandes grues de Feyenoord, le nouveau centre commercial de Rotterdam. Les huit projets suivants ont été reçus :

Société anonyme pour la transmission de la force par l'électricité, Paris. Fr.	1 300 000
Compagnie continentale Edison, Paris.	1 400 000
Thomson-Houston International Electric C°, Hambourg	1 125 000
Crompton et C°, Londres	1 040 000
Schuckert et C°, Nuremberg	890 000
Siemens et Halske, Berlin, projet I_a	826 000
— — projet I_b	720 000
— — projet II	626 000

Les directeurs recommandent l'adoption du projet II de la maison Siemens; les frais s'élèveront après quelques modifications à 825 000 francs.

L'installation doit fournir au début le courant nécessaire à 3500 lampes à incandescence, et actionner pendant la journée huit grues et le grand pont tournant de la Meuse. Mais on prévoit une extension jusqu'à 6000 lampes à incandescence et l'actionnement de 15 grues. Les frais d'installation monteraient alors à 2 800 000 francs. La décision définitive relative à cette affaire sera prise dans la prochaine session du conseil municipal de Rotterdam.

Le puffisme yankee s'est emparé de l'électricité pour en faire un de ses meilleurs moyens de réclame commerciale. Mais la façon dont il l'applique montre que le public en général est loin de posséder les premières notions relatives à l'électricité. Il est même étonnant que l'usage irréfléchi du courant n'amène pas plus fréquemment des accidents. On nous cite à ce propos plusieurs exemples caractéristiques.

Dans un magasin rempli de matières inflammables, une femme, assise dans un fauteuil basculant garni de lampes à incandescence, fermait ou ouvrait le circuit alternativement par les mouvements du fauteuil. Près d'elle étaient un violon et une guitare dont il suffisait de toucher les cordes pour allumer à l'intérieur de la caisse une lampe à incandescence. Tout cet étalage était fait pour attirer la clientèle ! Or, un inspecteur de l'éclairage constata avec effroi que les étincelles jaillissant aux pièces de contact et la chaleur dégagée par les lampes pouvaient à tout instant mettre le feu aux matières inflammables du magasin. Il était grandement temps d'y porter remède. Tout cela parce que le public est convaincu que l'éclairage électrique ne chauffe pas; c'est un peu de la faute des électriciens, qui ont parlé et parlent encore de l'éclairage électrique « froid ».

Dans un autre magasin, c'est un rhéostat porté au rouge que l'on découvre sous les rayons.

Un médecin ayant désiré avoir l'électricité dans son cabinet médical, un électricien (?) voulut le brancher sur un circuit à courants alternatifs à 2500 volts !

Il y a environ un mois, un électricien (?) voulant faire une farce à un de ses amis, lui fit toucher un circuit à haute tension. Il pensait donner une forte secousse; c'est la mort instantanée qui résulta du contact.

Un cas analogue s'est présenté il y a déjà quelques mois. On avait conseillé à un homme d'allumer sa pipe à une lampe à arc; là encore la plaisanterie eut une issue fatale.

En face de cette ignorance d'une grande partie du public, on se demande comment les accidents ne sont pas plus fréquents.

M. Charles Zenger fait en ce moment imprimer à Paris, chez Larousse, une très remarquable brochure de plusieurs feuilles, dans laquelle il développe les principes de météorologie qu'il a exposés dans les colonnes de *La Lumière Électrique*.

Avant d'entrer dans le détail de ses prévisions et l'énumération des vérifications obtenues à différentes reprises, l'auteur développe de fort intéressantes considérations sur le rôle que les théories électriques sont appelées à jouer dans la mécanique céleste.

Nous appellerons d'une façon spéciale l'attention de nos lecteurs sur cette partie de l'œuvre de notre savant collaborateur, dont ils ont eu la primeur.

On procèdera au mois d'avril prochain à l'inauguration de la ligne électrique suspendue de Liverpool.

Les administrateurs de l'entreprise s'étaient adressés à M. Gladstone, mais le premier ministre ayant déclaré que ses occupations ne lui permettaient point d'accepter, ils se sont retournés du côté de lord Salisbury. Le célèbre homme d'Etat a promis sa présence, sans se plaindre d'avoir été considéré comme un pis-aller.

MM. Michel et Bidermann, de Saint-Moritz (Grisons), ont demandé la concession fédérale pour la construction et l'exploitation d'un chemin de fer électrique du village de Saint-Moritz aux bains du même nom. La longueur totale de la ligne serait de 1900 mètres et la durée du parcours de 10 minutes.

Eclairage électrique.

La nouvelle incandescence par le gaz possède des avantages sérieux : une lumière très fixe et fort éclatante, et la possibilité de faire une économie importante sur les becs papillons classiques. Mais en revanche, les fils réfractaires portés à une haute température sont très fragiles, et l'appareil coûte 25 francs par bec. En outre,

la lumière possède une teinte peu agréable et n'a point la vivacité de l'incandescence bien installée.

D'autre part, l'allumage doit avoir lieu à la main en prenant des précautions spéciales. Cependant l'usage de ce nouveau système se répand. On nous cite notamment des cafés des grands quartiers où on l'installe en même temps que l'incandescence électrique. Cette nouvelle combinaison produira, paraît-il, des résultats très heureux.

Si ce que l'on nous rapporte est exact, nous aurons une nouvelle preuve que les progrès ne s'excluent pas, mais se complètent l'un par l'autre.

La Société normande d'électricité, de Rouen, achève en ce moment ses derniers travaux d'installation dans l'ancien hôtel Tuvache et les immeubles avoisinants. Une force motrice de mille chevaux permettra de parer à toutes les éventualités jusqu'ici prévues, et, de plus la Société, en prévision d'un développement ultérieur, a traité de l'achat du pâté d'immeubles où se trouve son usine. La Société avait eu des débuts très modestes; en 1890, elle n'utilisait que 300 chevaux et n'avait que 212 abonnés répartis sur 14 kilomètres de canalisation; aujourd'hui ses abonnés sont au nombre de 479, utilisant 5600 lampes sur un parcours de 25 kilomètres, et le personnel peut à peine suffire aux demandes nouvelles.

Télégraphie et Téléphonie.

Le service télégraphique de la Bolivie avait fonctionné jusque dans ces derniers temps sans réglementation précise et, d'après un rapport officiel, il en était souvent résulté de graves inconvénients au point de vue de la sécurité des transmissions et de la réparation des dérangements.

Pour remédier à cet état de choses, le ministère de l'intérieur et de la colonisation, auquel ressortit le service des télégraphes, se livra, à partir de 1885, à une étude approfondie des lois et règlements télégraphiques en vigueur dans d'autres pays, afin de les adapter autant que possible à l'état social et politique de la République. Ces travaux préparatoires lui ont permis d'élaborer un véritable code des dispositions relatives au service télégraphique comprenant les lignes, le personnel, les transmissions, le service des bureaux, la comptabilité et les tarifs. Les lecteurs que ce sujet intéresse trouveront dans le *Journal télégraphique*, de Berne, une analyse très complète de cette réglementation.

Non seulement le nombre des emplois de la téléphonie va en augmentant de jour en jour, mais ceux déjà connus se perfectionnent d'une façon tout à fait remarquable.

Il y a deux ans, on citait comme une curiosité une partie d'échecs jouée entre un club de Londres et un club d'Edimbourg. Nous apprenons par *Electricity* que dans la journée du samedi 17 décembre les deux mêmes clubs ont recommencé l'expérience. Cette fois, la difficulté était plus grande, car deux parties étaient engagées à la fois. Cette nouvelle complication n'a donné lieu à aucune erreur; les deux parties ont été jouées à la fois sans aucun embarras; l'on entendait les messages de Liverpool aussi distinctement à Londres que si la conversation avait lieu avec un interlocuteur placé dans la salle voisine. Il en était de même à l'autre bout de la ligne.

A l'occasion du nouvel an, l'on annonce que l'administration des Postes et Télégraphes prend des dispositions pour abréger le temps perdu entre l'arrivée de la dépêche à la station et sa mise en distribution.

La Société sud-africaine, de Londres, publie une circulaire relative à la formation d'une « African-Transcontinental-Telegraph Company », au capital de 10 millions, divisé en actions de 25 francs. La Société propose de construire des lignes télégraphiques de Fort Salisbury, par le Nyassa, le Taganyika et l'Ouganda jusqu'à Wady-Halfa. En même temps elle propose la construction immédiate de la ligne jusqu'au Nyassa et dans l'Ouganda.

Les compagnies ont intérêt à apporter le plus de perfectionnements possibles aux systèmes qu'elles exploitent; elles en ont peut-être aussi le désir, mais ce n'est pas suffisant. La réalisation d'un changement quelconque dans une grande compagnie échoue la plupart du temps devant l'apathie et l'indifférence du personnel. Quand un modeste employé propose une modification, quelque pratique et intéressante soit-elle, il faut que le projet soit d'abord visé par M. A., qu'il passe ensuite entre les mains de M. B., qu'il soit annoté par M. C., qu'il reçoive l'approbation de M. D., et ainsi de suite, et lorsqu'il a traversé toute la filière jusqu'à M. Z., il se trouve si déformé et si méconnaissable qu'on ne peut plus le réaliser.

Ainsi parle un de nos confrères à propos du réseau téléphonique de Vienne, et ses critiques pourraient être adressées à bien d'autres administrations téléphoniques qu'à celle de Vienne.

Au point de vue des perturbations par induction, dit-il, les lignes se trouvent dans de très mauvaises conditions. Il arrive que l'on peut écouter à la fois quatre ou cinq conversations différentes, et l'on entend de tous les côtés des « allô » des plus désagréables au milieu d'une conversation.

Dans d'autres villes on applique différents moyens pour éviter ces inconvénients. A Vienne, on n'a pas cru devoir suivre ces exemples.

On se sert aussi dans cette ville d'appareils un peu démodés et qui ne répondent plus aux besoins actuels, et souvent ce n'est qu'après avoir secoué et frappé sur le microphone, que l'on peut se faire entendre.

En troisième lieu, le personnel ne semble pas suffisamment exercé. Entre un appel et la réponse du bureau, il s'écoule souvent de 5 à 10 minutes, et encore arrive-t-il que des numéros soient confondus, etc., etc.

Ces inconvénients ne font rien moins que favoriser le développement de la téléphonie viennoise. Comme on trouve souvent plus pratique de se rendre chez son correspondant plutôt que de lui téléphoner, il ne faut pas s'étonner que l'on ne compte à Vienne qu'un peu plus de 8000 abonnés.

Le téléphone n'est réellement pratique qu'à la condition que ces inconvénients soient évités.

Le projet de relier par un câble télégraphique, à travers l'Océan Pacifique, les États-Unis à l'Australie ainsi qu'à la Chine et au Japon avait été conçu en 1871 par Cyrus Field. D'après le *Journal télégraphique*, ce projet comportait, pour la communication avec l'Australie, quatre câbles : le premier, commun avec un des projets de la ligne de Chine, allant de San-Francisco à Honolulu (îles Sandwich), le second de Honolulu aux îles Fidji, le troisième des îles Fidji à la Nouvelle-Calédonie, et le dernier enfin de la Nouvelle-Calédonie à Brisbane, la capitale de la colonie australienne de Queensland.

Mais cette vaste conception resta à l'état de projet aucune société ne s'étant formée pour en assurer l'exécution. Probablement dans la pensée qu'elle pourrait se réaliser dans un avenir plus ou moins éloigné, le Gouvernement des États-Unis fit bien effectuer par deux de ses bâtiments, le *Tuscarora* et le *Challenger*, de nombreux sondages pour reconnaître les fonds les plus appropriés à la pose des câbles, tant sur la route de San-Francisco au Japon et à la Chine, que sur celle de Honolulu à Sydney en passant par les îles Fidji. Mais après ces sondages qui furent effectués pendant les années 1873 à 1876, tout retomba dans le silence.

Le projet ne fut pourtant pas abandonné, car en 1876 M. Lemire, inspecteur des télégraphes de la Nouvelle-Calédonie, le rappelait et suggérait pour sa réalisation la réunion d'une conférence internationale. Dans la conférence des gouvernements coloniaux, en 1887, le projet, remis sur le tapis, fut fortement combattu; le point principal d'argumentation était l'impossibilité de l'immersion d'un câble, à cause de la grande profondeur des eaux et de la configuration accidentée et rocheuse du fond de l'Océan Pacifique.

Les colonies australiennes préféraient d'ailleurs améliorer les communications déjà existantes plutôt que de courir les risques d'une entreprise dont la réussite leur avait été représentée comme très problématique.

La « Pacific Telegraph Company », découragée par les échecs successifs des négociations qu'elle avait engagées avec divers gouvernements, avait renoncé à poursuivre son but, mais son principal représentant, M. Andley Coste, ne se tint pas pour battu. Pour réaliser les fonds nécessaires à l'entreprise projetée, il avait obtenu, après de longues négociations, l'assistance d'un groupe de capitalistes qui fondèrent à Paris une société sous le nom de Compagnie du Télégraphe de l'Océan Pacifique, avec un capital de 50 millions de francs, à laquelle s'associa ensuite, dans ce but spécial, la Société française des télégraphes sous-marins.

La nouvelle société s'engagea à fournir les fonds nécessaires et à entreprendre la pose de la première section du câble de l'Océan Pacifique, soit du Queensland à la Nouvelle Calédonie, sous la réserve que les gouvernements intéressés lui accordassent une garantie collective annuelle d'un revenu de 300,000 francs pour une période de trente ans.

Le gouvernement français ayant acquiescé à cette condition, en s'engageant à contribuer à cette garantie pour la somme de 200 000 francs, le gouvernement du Queensland accepta la proposition de compléter la subvention en commun avec la colonie de la Nouvelle-Galles du Sud, sous les conditions principales ci-après :

Pour toute la durée de la garantie, les gouvernements du Queensland et de la Nouvelle-Galles du Sud auront le libre usage de la première section du câble de l'Océan Pacifique pour la transmission de leurs télégrammes officiels jusqu'à concurrence du montant annuel de eur subvention.

Le minimum de la taxe d'un télégramme de dix mots échangés entre le Queensland et la Nouvelle-Calédonie sera fixé à 8,75 fr., dont 7,50 pour le câble et 1,25 pour le Queensland; pour chaque mot additionnel il sera perçu 70 centimes, dont 60 pour la Compagnie et 10 pour le Queensland.

Les dépenses annuelles d'exploitation du câble ne devront pas dépasser la somme de 60 000 francs. La Compagnie s'engage naturellement à maintenir toujours le câble en bon état de service, et dans le cas où il viendrait à être interrompu pour une durée de plus de 21 jours, les effets de la garantie seront suspendus jusqu'à l'entière réparation de la communication.

Une fois que le câble de l'Océan Pacifique aura été prolongé jusqu'aux îles Hawaï, la pose de sa dernière section jusqu'à l'île de Vancouver ne se fera pas longtemps attendre, puisque le peuple canadien est impatient d'en voir l'accomplissement. On peut donc espérer que la conception hardie de Cyrus Field sera bientôt réalisée; l'accomplissement en sera dû à l'énergie et à la persévérance de l'Anglais Andley Coste.

Imprimeur-Gérant : V. Nory.

Imprimerie de la Lumière Électrique. — Paris, 31, boulevard des Italiens.

La Lumière Électrique

Journal universel d'Électricité

31, Boulevard des Italiens, Paris

DIRECTEUR : Dr CORNÉLIUS HERZ

XVe ANNÉE (TOME XLVII) SAMEDI 14 JANVIER 1893 N° 2

SOMMAIRE. — Les procédés Hutin et Leblanc pour la transformation des courants alternatifs en courants continus ; F. Guilbert. — Applications mécaniques de l'électricité ; Gustave Richard — La théorie positive de l'électricité atmosphérique confirmée par des observations et expériences nouvelles ; L. Palmieri. — Recherches récentes sur la mesure des températures par les procédés électriques ; J. Blondin. — Chronique et revue de la presse industrielle : Système de traction électrique Wynne — Détails de construction de la nouvelle ligne téléphonique New-York-Chicago, par M. J. Wetzler. — Sur les variations des tensions dans le système à courants triphasés, par H. Goerges. — Pile sèche au chlorure d'argent Hard. — Voltmètre Weston — Sonneries et annonciateurs Mix et Genest. — Revue des travaux récents en électricité : Société internationale des électriciens (séance du 4 janvier 1893) (suite). — Sur la dissipation de l'énergie électrique dans le résonateur de Hertz, par M. Nikola Tesla. — Piles voltaïques à électrolytes fondus, par M. J. Brown. — Faits divers

LES PROCÉDÉS HUTIN ET LEBLANC POUR LA TRANSFORMATION DES COURANTS ALTERNATIFS EN COURANTS CONTINUS

Le Panchahuteur.

La transformation des courants alternatifs en courants continus est un des problèmes complémentaires les plus intéressants de la transmission de l'énergie par courants alternatifs.

C'est pourquoi MM. Hutin et Leblanc ont étudié depuis quelque temps les moyens propres à effectuer cette transformation le plus économiquement possible.

Ces savants, qui avaient déjà fait breveter un certain nombre de systèmes, viennent d'en imaginer un nouveau qui mérite l'attention et qui fera l'objet principal de cet article.

Cependant, bien que MM. Hutin et Leblanc aient publié déjà deux systèmes anciens, ceux-ci sont très peu connus et il n'est pas sans intérêt d'en donner une description sommaire. C'est ce que nous ferons d'abord.

Le premier de ces systèmes se compose (fig. 1 et 2) de deux commutateurs creux identiques et de même axe. Dans leur intérieur, deux cylindres de charbon *d*, de diamètre un peu plus petit peuvent rouler sur ces commutateurs et servent de balais.

Les deux charbons sont animés d'un mouvement de rotation uniforme obtenu en les rendant solidaires d'un système de deux cadres métalliques disposés à angle droit AOA, BOB et animés chacun d'un mouvement pendulaire de même amplitude et de même fréquence, mais présentant une différence de phases d'un quart de période.

Ces cadres sont suspendus dans un système électromagnétique disposé comme le montre schématiquement la figure 3.

Le système se compose d'une pile de tôles *aa bb*, ménageant deux entrefers *ee*, *ee*. Sur le noyau *bb* sont enroulées quatre bobines MM, *mm*.

Les bobines MM, enroulées en sens inverse, sont parcourues par un courant continu ; le flux qu'elles développent coupe les entrefers et est indiqué par les flèches en traits pleins.

Les bobines *mm*, enroulées dans le même sens, sont parcourues par un courant alternatif : le flux développé est indiqué en pointillé.

Le cadre *cc* est donc coupé par un flux alternatif et par suite est le siège d'un courant de même période dont l'action sur le flux constant a pour effet d'imprimer au cadre un mouvement oscillatoire.

Dans les figures représentant l'appareil suivant deux coupes et en projection, le flux constant est engendré par les bobines *c c* entourant les commutateurs creux. Le flux produit passe dans des pièces polaires Q Q, traverse les cadres, puis un disque E E formé de tôles s'encastrant dans d'autres constituant les colonnes V et se ferme ensuite par les pièces F F, formées également de tôles empilées et isolées.

Les bobines fournissant les flux alternatifs

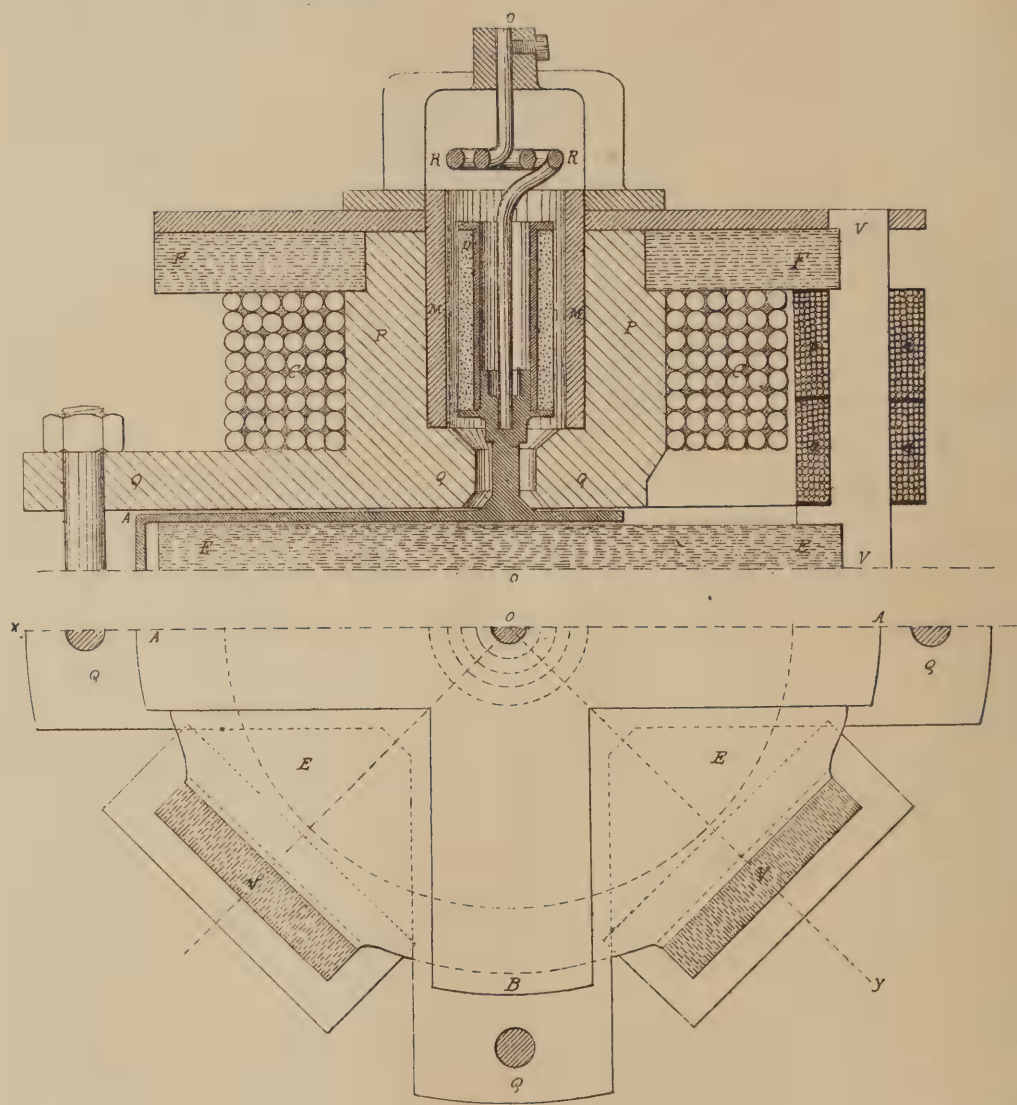


Fig. 1 et 2. — Commutateur automatique pour courant de 30 ampères. (Les deux moitiés de la figure 1 représentent à droite 1/4 de coupe suivant O Y, à gauche 1/4 suivant O X).

correspondant aux deux cadres sont au nombre de huit égales $a, a, a...$, et enroulées sur les colonnes V (fig. 4). Ces bobines sont traversées les unes par un courant $A \sin 2\pi \frac{t}{T}$, les autres par un courant $A \cos 2\pi \frac{t}{T}$ de façon que les bobines de chaque colonne produisent les effets ci-contre:

V_1 engendrent un flux			$\Phi_0 \left(\sin 2\pi \frac{t}{T} + \cos 2\pi \frac{t}{T} \right)$,
V_2	—	—	$\Phi_0 \left(-\sin 2\pi \frac{t}{T} + \cos 2\pi \frac{t}{T} \right)$,
V_3	—	—	$-\Phi_0 \left(\sin 2\pi \frac{t}{T} + \cos 2\pi \frac{t}{T} \right)$,
V_4	—	—	$\Phi_0 \left(\sin 2\pi \frac{t}{T} - \cos 2\pi \frac{t}{T} \right)$.

Ces flux se ferment par le disque E, les co-

lonnes V_1, V_2, V_3, V_4 et les couronnes FF sans traverser aucun entrefer.

Le cadre n° 1 (fig. 4) sera alors traversé par un flux $2\Phi_0 \sin \frac{2\pi t}{T}$, et le n° 2 par un flux $2\Phi_0 \cos 2\pi \frac{t}{T}$.

L'équipage formé par les deux cadres est suspendu par un ressort R et maintenu à la partie inférieure par un ressort analogue R'.

Sous l'influence des deux mouvements oscillatoires, le système prendra un mouvement de nutation, et les génératrices de contact se déplaceront uniformément le long des commutateurs ainsi que le montrent MM. Hutin et Leblanc.

L'appareil que nous venons de décrire, destiné à transformer des courants de haute fréquence,

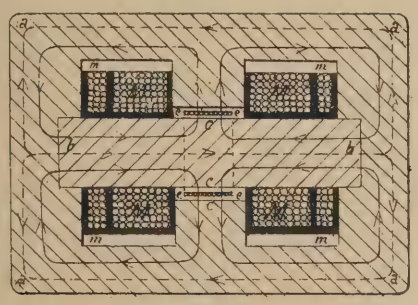


Fig. 3

1000 par exemple, ne fait néanmoins que 50 tours par seconde. Il faut donc obtenir pour alimenter le commutateur un courant ayant vingt fois moins de périodes. On y arrive en montant sur le même arbre que celui de la dynamo de 1000 périodes une seconde machine ayant vingt fois moins de pôles. La transmission de ce courant peut se faire, comme on le sait, par la même ligne que le courant de haute fréquence.

Ceci posé, l'application de cet appareil à la transformation d'un courant alternatit en continu est analogue à une question correspondante d'hydraulique, celle d'une machine à colonne d'eau où la distribution serait opérée par un système de tiroirs tournants, à ouvertures et fermetures brusques.

Le dispositif est représenté par la figure 5, où les commutateurs M et N ont leurs dents coïncidant respectivement entre elles. Les isolants ont une largeur telle que les circuits commandés par les disques ne puissent jamais être fermés simultanément.

Le jeu de l'appareil se comprend suffisamment à l'inspection de la figure 5 sans qu'il soit beaucoup nécessaire d'y insister; le condensateur γ est destiné à recueillir l'électricité au moment de chaque rupture, s'il y a un léger défaut du calage des balais, électricité qu'il restituera ensuite.

Le second système imaginé par MM. Hutin et Leblanc repose sur les propriétés de l'anneau Gramme.

L'appareil proposé est formé d'un anneau composé de tôles isolées sur lequel sont enroulés trois circuits composés de bobines distinctes connectées comme le montre la figure 6.

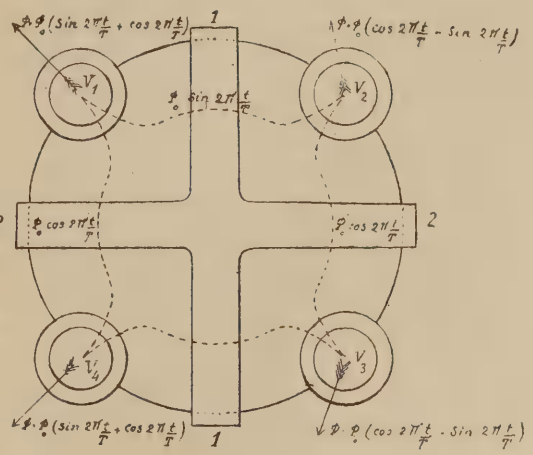


Fig. 4

Cet anneau est entouré d'un second anneau au travers duquel se ferment les flux suivant les lignes indiquées en pointillé.

Deux des circuits *aa*, *bb* sont traversés par des courants alternatifs de même période et de même intensité, mais décalés d'un quart de période. Ils engendrent donc un champ inducteur tournant.

Le troisième *ss* joue le rôle du circuit secondaire; ses différentes bobines sont reliées aux touches successives d'un collecteur, comme dans une machine ordinaire à courant continu.

Un système de deux balais diamétralement opposés tourne autour de ce collecteur avec la même vitesse que le champ tournant.

Le fonctionnement de cet appareil est des plus aisés à comprendre; l'ensemble constitue en effet une véritable machine à courant continu.

avec cette différence que les parties ordinairement mobiles sont fixes, et réciproquement.

D'après la théorie des machines à balais tournants faite par les inventeurs, on recueillera encore un courant toujours de même sens en ne lançant qu'un seul courant dans le circuit primaire.

Mais, dans ce cas, l'énergie communiquée au primaire variant périodiquement, il en sera de même de l'énergie recueillie, et on n'obtiendra que des courants redressés, mais non pratiquement continus.

Si on se sert de deux courants primaires décalés d'un quart de période, l'énergie communiquée au premier est, par exemple, $Q \sin^2 2\pi \frac{t}{T}$,

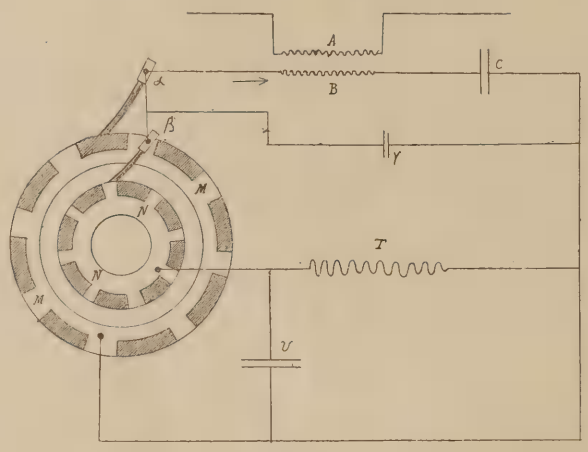


Fig. 5

et celle communiquée au second $Q \cos^2 2\pi \frac{t}{T}$. L'énergie totale fournie au transformateur est donc constante à chaque instant, et il en sera de même de celle recueillie aux bornes du secondaire.

La théorie de ces deux premiers systèmes a été exposée par les auteurs dans ce journal.

Nous espérons que MM. Hutin et Leblanc compléteront un jour ce travail ou encore que M. Géraldy voudra bien nous le faire connaître sommairement avec la simplicité qu'il apporte ordinairement dans l'exposé de ces théories, toujours un peu arides.

Ces deux procédés rappelés, nous allons étudier avec plus de détails le dernier procédé de MM. Hutin et Leblanc. Ce procédé consiste dans l'emploi d'un appareil spécial auquel on a donné le nom de *panchahuteur*. Nous croyons savoir que c'est M. Géraldy qui a été son parrain et que l'étymologie de panchahuteur est tirée des mots grecs παν et χαυτω. M. de Loménie avait proposé de l'appeler *panurge* (de παν et υργω), mais la première dénomination a prévalu.

Le nouveau procédé de MM. Hutin et Leblanc repose sur l'emploi d'appareils où les circuits parcourus par des courants primaires et par le courant secondaire sont enroulés autour

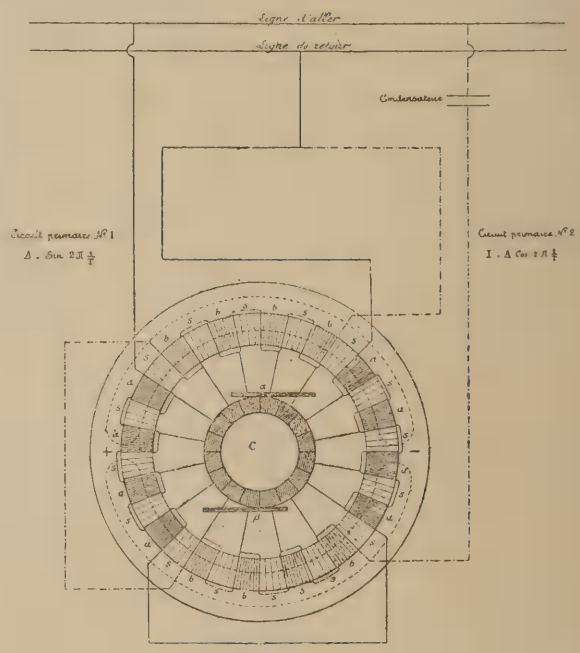


Fig. 6.

Transformateur de courants alternatifs en continus.
aaa bobines formant le circuit primaire n° 1.
bbb — — — n° 2.
III — — secondaire.

des mêmes noyaux de fer et concourent de la même manière à la production des flux agissants. Les phénomènes qui se passent dans cet appareil sont analogues à ceux qui se passent dans les transformateurs.

Le principe en est le suivant :

Considérons un circuit magnétique fermé sur lequel est enroulé un circuit électrique composé de N spires et parcouru par un courant alternatif $I = A \sin \frac{2\pi}{T} t$. Le nombre d'ampères-tours sera $N A \sin \frac{2\pi t}{T}$.

Nous ne changeons rien dans ce système, pas plus aux effets magnétiques qu'aux effets élec-

triques, si, au lieu de faire varier l'intensité, nous la laissons constante en faisant varier le nombre de spires actives, en fonction du temps, suivant la loi $N \sin 2\pi \frac{t}{T}$, ou plus généralement en faisant varier à la fois l'intensité et le nombre de spires suivant des lois quelconques assujetties à la seule condition que le produit conserve une variation sinusoïdale.

Ceci posé, si nous considérons un transformateur ordinaire à courant alternatif avec ses deux circuits enroulés sur un même noyau, nous ne changerons rien aux inductions mutuelles ni à la transmission d'énergie d'un circuit à l'autre, si lançant dans le primaire un courant alternatif nous faisons en sorte que l'intensité dans le secondaire reste constante en faisant varier le nombre de spires suivant la loi du sinus.

C'est cette dernière considération qui a conduit MM. Hutin et Leblanc à la solution pratique du problème qui nous occupe.

Le panchahuteur se compose de deux noyaux magnétiques identiques A B, A' B' sur lesquels sont enroulés deux circuits primaires parcourus par des courants alternatifs également identiques, mais décalés d'un quart de période, et d'un collecteur ordinaire de machine à courant continu sur leqnel frottent deux balais diamétralement opposés (la figure 7 représente les deux noyaux supposés développés).

Sur chacun des deux noyaux sont en outre enroulés $2n$ bobines dont les nombres de spires respectifs sont indiqués dans le tableau suivant :

TABLEAU I

Numéros des bobines secondaires du premier noyau	Nombre de spires des bobines	Numéros des bobines secondaires du deuxième noyau	Nombre de spires des bobines
1	$V \sin 2\pi\alpha$	1'	$V \cos 2\pi\alpha$
2	$V \sin 2\pi\left(\alpha + \frac{1}{2n}\right)$	2'	$V \cos 2\pi\left(\alpha + \frac{1}{2n}\right)$
3	$V \sin 2\pi\left(\alpha + \frac{2}{2n}\right)$	3'	$V \cos 2\pi\left(\alpha + \frac{2}{2n}\right)$
.....	.....	.....	.....
n	$V \sin 2\pi\left(\alpha + \frac{n-1}{2n}\right)$	n'	$V \cos 2\pi\left(\alpha + \frac{n-1}{2n}\right)$
$n+1$	$V \sin 2\pi\left(\alpha + \frac{n}{2n}\right)$	$(n+1)$	$V \cos 2\pi\left(\alpha + \frac{n-1}{2n}\right)$
.....	.....	.....	.....
$2n-1$	$V \sin 2\pi\left(\alpha + \frac{2n-2}{2n}\right)$	$(2n-1)$	$V \cos 2\pi\left(\alpha + \frac{2n-2}{2n}\right)$
$2n$	$V \sin 2\pi\left(\alpha + \frac{2n-1}{2n}\right)$	$(2n)'$	$V \cos 2\pi\left(\alpha + \frac{2n-1}{2n}\right)$

Ce tableau indique pour chaque bobine de chaque noyau son nombre de spires affecté du signe + pour une moitié consécutive des bobines d'un même noyau et du signe — pour l'autre moitié. Ces signes signifiant, bien entendu, que les bobines positives étant enroulées dans un certain sens, sinistrorsum par exemple, les négatives seront enroulées en sens contraire, dextrorsum.

On pourrait du reste les enrouler toutes dans le même sens ; il n'y aurait qu'à réunir au moment du groupage le fil de sortie de la dernière bobine positive avec le fil de sortie de la première négative et inversant de même les extrémités pour toutes les bobines négatives.

Le tableau montre aussi que les deux bobines diamétralement opposées ; $1, n+1, \ldots 1', (n+1)' \ldots$ ont toujours le même nombre de spires, mais sont enroulées en sens inverse.

Avec ces $4n$ bobines des deux noyaux, on

peut constituer $2n$ sections formées chacune des deux bobines correspondantes sur chaque noyau, c'est-à-dire 1 avec 1', 2 avec 2'... ces bobines étant montées en série en tenant compte de leur signe, ce qui signifie qu'on devra permuter les fils d'entrée et de sortie des bobines négatives. On joindra ensuite toutes ces sections en série suivant la même règle et les points de jonction des sections entre elles seront réunis aux lames du collecteur; par exemple le fil de sortie de la section n° 1 (qui est le fil de sortie de la bobine 1') communiquera avec le fil d'entrée de la section n° 2 (entrée de la bobine 2) et avec la touche 1 du collecteur, etc.

La figure 7 montre comment sont opérées les

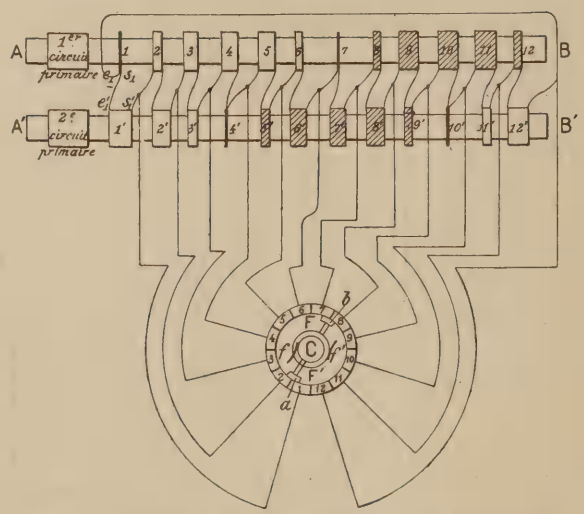


Fig. 7. — Schéma de l'appareil supposé développé.

connexions des fils d'entrée et de sortie des sections entre eux et avec les lames du collecteur; les nombres des spires y sont représentés par les dimensions des rectangles indiquant les bobines.

Les positives sont en blanc et les négatives en hachures. La figure 7 correspond au cas où $2n = 12$ $\alpha = 0$; dans ce cas, les bobines 1 et 7 et 4' et 10' ont un nombre de spires nul, leurs emplacements, qui seraient occupés par des bobines si α avait une autre valeur, sont indiqués par un simple trait.

Les deux balais a, b se déplacent autour du collecteur avec une vitesse angulaire uniforme $\frac{2\pi}{T}$ (T étant la durée d'un tour complet). Ils ont une largeur de contact égale à celle d'une lame et d'un isolant, de sorte qu'ils mettent constamment en court circuit deux sections diamétralement opposées, une mise en court circuit cessant dès qu'une nouvelle mise a lieu. Ces balais communiquent à deux bagues sur lesquels deux frotteurs ff' recueillent le courant fourni par le circuit secondaire.

Le circuit secondaire est ainsi partagé d'un

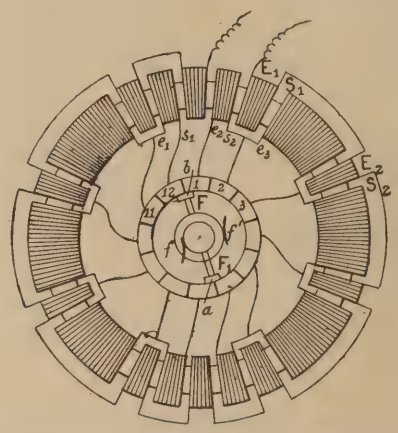


Fig. 8. — Schéma de l'appareil à un seul anneau et connexions des bobines entre elles et aux lames du collecteur.

balai à l'autre en deux circuits. En particulier, sur la figure 7 le balai a s'appuie sur les touches 1 et 2, et b sur 7 et 8, nous aurons donc d'un balai à l'autre en suivant :

1° Un premier circuit fermé des sections :

$$3+3',\ 4+4',\ 5+5',\ 6+6',\ 7+7'$$

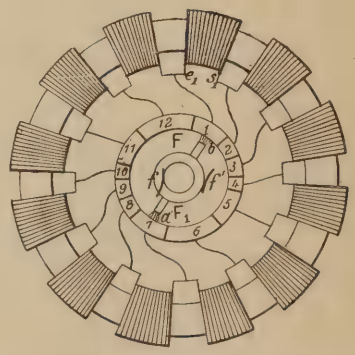


Fig. 9. — Schéma du dispositif avec les bobines égales.

2° Un second circuit formé des sections :

$$9+9',\ 10+10',\ 11+11',\ 12+12',\ 1+1'$$

les sections $2+2'$ et $8+8'$ étant mises en court circuit par les balais.

Mais le tableau nous montre que ces deux cir-

cuits ont le même nombre de spires, mais enroulées en sens inverse; ils auront donc la même résistance et le même coefficient de self-induction. De plus on voit aussi chacun d'eux ou un certain nombre de spires enroulées dans un sens et un certain nombre de spires enroulées en sens contraire, spires qui sont traversées par le même courant.

Or, la somme des effets magnétiques de deux spires enroulées en sens contraire sur un même noyau et traversées par un même courant est nulle et il en est de même de la somme algébrique des inductions mutuelles sur toute autre spire entourant le même noyau. Il s'ensuit que la résultante des actions magnétiques d'un des circuits précédents branchés entre les deux balais, à un moment quelconque de la période T, est égale à la somme algébrique des actions de toutes les spires, et il en sera de même de la résultante des inductions mutuelles entre les spires enroulées sur les noyaux.

Enfin, les actions des deux circuits sur les noyaux ou sur tout circuit enroulé sur eux s'ajouteront; en d'autres termes, le nombre d'ampères-tours du circuit formé par les différentes sections est égal à chaque instant de la période à l'intensité multipliée par le double de la somme algébrique du nombre de spires sur chacun des circuits branchés sur les balais.

Si l'on déplace les balais sur le collecteur, on pourra avoir, d'après la figure 1, six positions successives aux différentes époques de la demi-période.

Il est facile de montrer que la somme algébrique des spires actives variera alors sensiblement suivant une loi sinusoïdale. On voit, en effet, qu'on passe d'une bobine à la suivante en ajoutant à l'angle correspondant la quantité $\frac{2\pi}{2n}$. On pourra donc affecter à la première bobine de chacun des n circuits doubles un angle $\frac{2\pi m}{2n}$ en désignant par m un nombre entier dépendant de la position des balais et susceptible de prendre suivant les cas n valeurs consécutives.

La somme des spires d'un circuit sera alors représentée par la somme

$$V\left[\sin 2\pi \frac{m}{2n} + \ldots\ldots + \sin 2\pi\left(\frac{m}{2n} + \frac{n-1}{2n}\right) + \cos 2\pi \frac{m}{2n} + \ldots\ldots + \cos 2\pi\left(\frac{m}{2n} + \frac{n-1}{2n}\right)\right]$$

diminuée de la section en court circuit

$$V\left[\sin 2\pi \frac{m}{2n} + \cos 2\pi \frac{m}{2n}\right],$$

ou

$$V\left\{\sin \frac{2\pi}{2n}\left[m + \frac{n-1}{2}\right] \sin^{-1} \frac{\pi}{2n} - \sin \frac{\pi}{4} \cos\left[\frac{\pi}{4} - \frac{2\pi m}{2n}\right]\right\}$$

fonction sinusoïdale dont la demi-période correspond au temps que m met à prendre les n valeurs consécutives dont il est susceptible, c'est-à-dire à $\frac{T}{2}$. m variant par valeur entière, le nombre d'ampères-tours varie suivant une ligne brisée d'autant plus rapprochée de la sinusoïde que n est plus grand.

Pratiquement, on peut donner à n une valeur relativement petite sans avoir à craindre les défauts que la petitesse de ce nombre entraînent dans les machines à courants continus.

Dans ces machines, en effet, la division en un grand nombre de sections du conducteur enroulé autour du noyau a un double but :

1° Eviter les pertes d'énergie en chaleur dues à la mise en court circuit de toutes les sections successives, chacune d'elle restant, pendant toute la durée de la mise en court circuit, le siège d'une force électromotrice à peu près proportionnelle au carré du nombre de spires (force électromotrice de self-induction);

2° De réduire autant que possible le décalage des balais, de façon que l'angle de décalage nécessaire pour éviter la formation d'étincelles soit le plus petit possible.

Dans l'appareil de MM. Hutin et Leblanc, les flux se fermant constamment à l'intérieur des noyaux, tout se passe comme dans les transformateurs à courants alternatifs ordinaires, où la somme algébrique des ampères-tours primaires et secondaires est sensiblement nulle. En effet, si l'on tient compte des ampères-tours produits dans les sections en court circuit, la somme des ampères-tours totaux comme nous l'avons vu plus haut est à peu près nulle. Il en résulte que toute l'énergie du système étant ainsi complètement utilisée à l'intérieur, il n'y aura aucune perte à l'extérieur, ni production d'étincelles aux balais, si petit que soit n.

MM. Hutin et Leblanc ont pu ainsi, sans obtenir d'étincelles, développer aux balais une tension de 150 volts avec un collecteur de 12 touches.

Le dispositif précédent peut être employé avec un seul noyau magnétique identique à l'un des noyaux A B et en ne se servant dans ce cas que d'un seul courant alternatif. C'est ce que représente la figure 8. Mais dans ce cas, l'appareil, au lieu des courants sensiblement continus, ne donnera que des courants redressés, car l'énergie fournie au circuit primaire étant périodique, l'énergie transformée et débitée par le secondaire suivra la même loi.

Dans ce cas, MM. Hutin et Leblanc font remarquer que lorsque les condensateurs deviendront pratiques, en adjoignant à l'appareil simplifié un condensateur qui emmagasinera l'énergie débitée par le primaire lorsque le débit dépassera la valeur moyenne et qui la restituera au moment ou cette énergie tombera au-

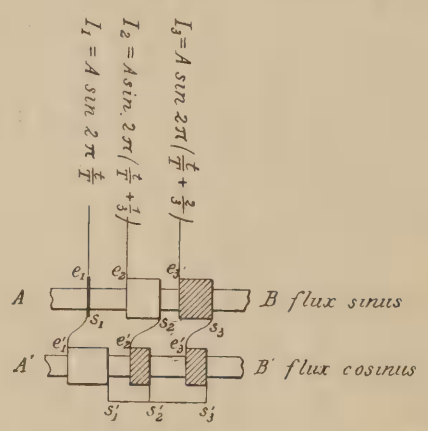


Fig. 10. — Schéma du dispositif permettant d'obtenir deux flux décalés d'un quart de période à l'aide de courants triphasés.

dessous de cette valeur, on pourra faire disparaître toute variation de l'énergie du courant transformé (1).

Au lieu d'adopter un dispositif consistant à faire varier le nombre de spires d'une bobine à l'autre d'après le tableau indiqué, on peut, comme nous l'avons déjà dit, laisser les nombres de spires égaux ou leur faire suivre une loi quelconque, en faisant varier suivant une loi qui s'en déduit, les dimensions respectives des lames du collecteur et par suite la durée du passage des balais sur les différentes touches, et remarquant que les touches opposées doivent avoir une largeur égale. Mais cette question n'a qu'un intérêt secondaire et nous la laisserons de côté. Nous avons néanmoins représenté cette disposition sur la figure 9.

Pour obtenir les deux flux décalés convenablement, MM. Hutin et Leblanc emploient, lorsqu'on ne dispose pas de machines fournissant les deux courants séparément, les procédés bien connus du condensateur ou du transformateur dont ils sont les inventeurs.

Le transport des deux courants exige quatre conducteurs ; on peut n'en employer que trois égaux en se servant des courants triphasés.

Soient en effet les trois courants :

$$I_1 = A \sin \frac{2\pi t}{T},$$

$$I_2 = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} + \frac{1}{3}\right),$$

$$I_3 = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} + \frac{2}{3}\right),$$

et supposons que l'on fasse effectuer (fig. 10) :

1° Au premier courant I_1 :

$V \sin 2\pi\alpha$ tours autour du 1er noyau magnétique,
$V \cos 2\pi\alpha$ — 2e —

2° Au deuxième courant I_2 :

$V \sin 2\pi\left(\alpha + \frac{1}{3}\right)$ tours autour du 1er noyau magnétique,
$V \cos 2\pi\left(\alpha + \frac{1}{3}\right)$ — 2e —

3° Au troisième courant d'intensité I_3 :

$V \sin 2\pi\left(\alpha + \frac{2}{3}\right)$ tours autour du 1er noyau magnétique,
$V \cos 2\pi\left(\alpha + \frac{2}{3}\right)$ — 2e —

Dans ces conditions, le nombre d'ampères-tours sur le premier noyau sera :

$$AV\left[\sin \frac{2\pi t}{T} . \sin 2\pi\alpha + \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} + \frac{1}{3}\right) \sin 2\pi\left(\alpha + \frac{1}{3}\right) + \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} + \frac{2}{3}\right) . \sin 2\pi\left(\alpha + \frac{2}{3}\right)\right] = AV\frac{3}{2} . \cos 2\pi\left(\frac{t}{T} - \alpha\right)$$

Le nombre d'ampères-tours autour du second noyau serait de même, toutes réductions faites :

$$AV\frac{3}{2} . \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \alpha\right).$$

Ces deux nombres d'ampères-tours sont donc bien de même fréquence, de même valeur maxima et décalés d'un quart de période.

Les enroulements une fois effectués, comme

(1) Nous apprenons au dernier moment que MM. Hutin et Leblanc ont résolu ce dernier problème en employant comme réservoir auxiliaire d'énergie, non un condensateur, mais une bobine de self-induction.

il vient d'être dit, avec chacun des trois fils, les trois extrémités seront réunies de façon que, suivant le mode ordinaire, chaque conducteur serve de retour aux courants amenés par les deux autres.

Ce dispositif permet donc de transformer les courants triphasés en courant continu en n'employant que deux noyaux magnétiques. Le procédé de MM. Hutin et Leblanc généralisé peut conduire à une transformation, en quelque sorte plus directe, mais en employant trois noyaux recevant chacun un circuit primaire parcouru par des courants dont les expressions ont été données plus haut.

TABLEAU II

Numéros des bobines des sections élémentaires	Nombre de spires des bobines entourant		
	Le premier noyau magnétique courant primaire I_1	Le deuxième noyau magnétique courant primaire I_2	Le troisième noyau magnétique courant primaire I_3
1	$V \sin 2\pi\alpha$	$V \sin 2\pi\left(\alpha + \frac{1}{3}\right)$	$V \sin 2\pi\left(\alpha + \frac{2}{3}\right)$
2	$V \sin 2\pi\left(\alpha + \frac{1}{2n}\right)$	$V \sin 2\pi\left(\alpha + \frac{1}{3} + \frac{1}{2n}\right)$	$V \sin 2\pi\left(\alpha + \frac{2}{3} + \frac{1}{2n}\right)$
3	$V \sin 2\pi\left(\alpha + \frac{2}{2n}\right)$	$V \sin 2\pi\left(\alpha + \frac{1}{3} + \frac{2}{2n}\right)$	$V \sin 2\pi\left(\alpha + \frac{2}{3} + \frac{2}{2n}\right)$
.....	.....	.....	.....
n	$V \sin 2\pi\left(\alpha + \frac{n-1}{2n}\right)$	$V \sin 2\pi\left(\alpha + \frac{1}{3} + \frac{n-1}{2n}\right)$	$V \sin 2\pi\left(\alpha + \frac{2}{3} + \frac{n-1}{2n}\right)$
$n+1$	$V \sin 2\pi\left(\alpha + \frac{n}{2n}\right)$	$V \sin 2\pi\left(\alpha + \frac{1}{3} + \frac{n}{2n}\right)$	$V \sin 2\pi\left(\alpha + \frac{2}{3} + \frac{n}{2n}\right)$
.....	.....	.....	.....
$2n$	$V \sin 2\pi\left(\alpha + \frac{2n-1}{2n}\right)$	$V \sin 2\pi\left(\alpha + \frac{1}{3} + \frac{2n-1}{2n}\right)$	$V \sin 2\pi\left(\alpha + \frac{2}{3} + \frac{2n-1}{2n}\right)$

Chacune des $2n$ sections élémentaires com-

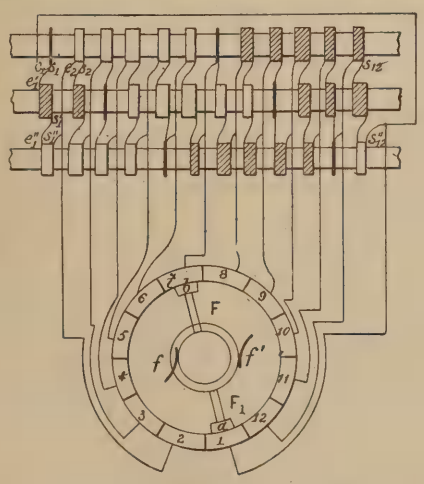


Fig. 11. — Schéma de l'appareil supposé développé (courants triphasés).

posant le circuit secondaire sera constituée par trois bobines et dont les nombres de spires sont indiqués dans le tableau II, analogue à celui du cas précédent. La figure 11 représente cette disposition dans le cas où $2n = 12$ et $\alpha = 0$.

Tout ce qui a été dit relativement au signe des bobines et aux diverses façons de les enrouler est encore applicable au cas actuel. D'une manière générale, le procédé de MM. Hutin et Leblanc pourra transformer un nombre quelconque p de courants polyphasés, décalés entre eux de $\frac{2\pi}{p}$, en le constituant à l'aide de p noyaux magnétiques. Dans tous les cas, l'énergie communiquée par l'ensemble des primaires est encore constante.

Bien que pour la facilité de l'exposition on ait supposé que le collecteur restait immobile, en faisant tourner les balais seuls, il est évident qu'on peut faire tourner le collecteur en laissant les balais fixes, ce qui peut être avantageux dans certains cas.

Il suffit pour cela de relier les fils de sortie de

chaque section à la touche correspondante du collecteur au moyen d'une bague mobile en communication électrique avec cette touche.

La figure 12 représente un appareil où cette disposition est réalisée. Un moteur synchrone à 6 pôles fait tourner le collecteur C muni de 36 touches. Ce collecteur est triple, c'est-à-dire contient trois fois plus de touches qu'il n'en faut, de façon à ce qu'il n'ait à faire qu'un tiers de tour pendant la durée de chaque période des courants alternatifs qu'on veut transformer. Soient 1, 2, 3..... 36 ces touches ; elles communiquent trois par trois à 12 bagues α_1 α_2..... α_{12}, la 1re, 13e et 25e communiquant avec la bague α_1, et ainsi de suite.

Sur ces bagues s'appuient 12 frotteurs fixes β_1, ... β_{12}, reliés individuellement à 12 lames γ_1 γ_2..... γ_{12}, auxquelles viennent aboutir les fils de sortie des 12 sections élémentaires entre lesquelles nous supposons décomposé le circuit secondaire.

Par l'augmentation du nombre de touches correspondant à chaque section, on peut ainsi réduire la vitesse angulaire à donner au collecteur.

Sur le collecteur frottent les deux balais diamétralement opposés, destinés à recueillir le courant transformé et pouvant être décalés plus ou moins à l'aide d'un dispositif identique à ceux employés pour les machines à courant continu.

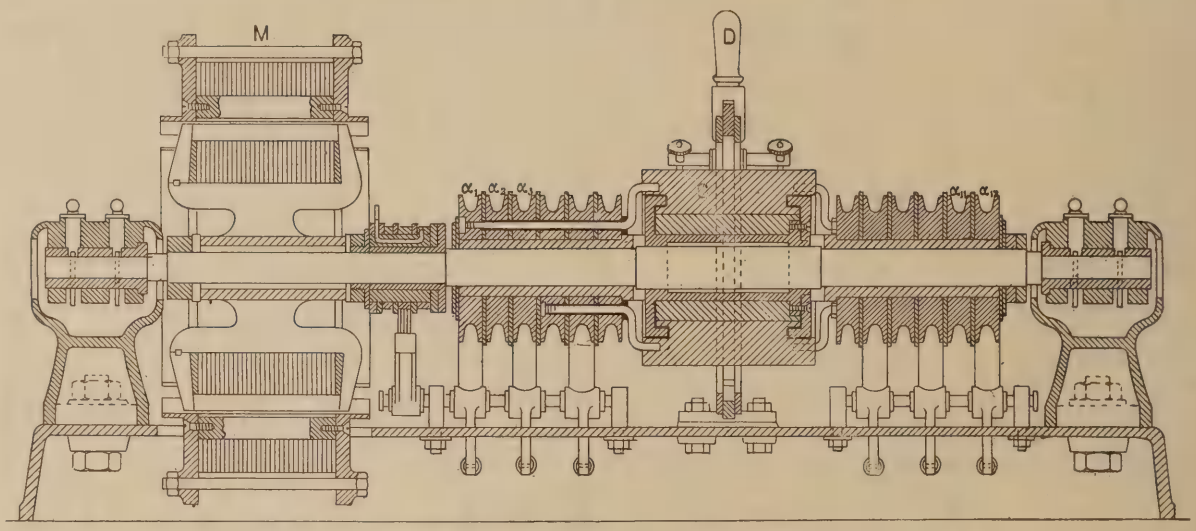


Fig. 12. — Transformateur Hutin et Leblanc à collecteur mobile.

Au lieu d'alimenter le moteur synchrone faisant tourner les balais ou le collecteur avec des courants faisant de l'usine génératrice, on pourra enrouler sur chaque noyau un circuit spécial ; on aura ainsi des courants décalés de basse tension qui assureront la marche du moteur.

Comme dernière remarque, nous signalerons que l'appareil est reversible et que par conséquent en lui fournissant un courant continu on pourra obtenir des courants alternatifs déphasés suivant les lois indiquées et dont la fréquence sera uniquement fonction de la vitesse de rotation des balais.

En résumé, le procédé de MM. Hutin et Leblanc a l'avantage d'employer des circuits magnétiques fermés, ce qui assure une bonne utilisation des matériaux et un rendement élevé. Il supprime la perte d'énergie due à la commutation et rend le calage des balais indépendant du débit de l'appareil. Joint aux machines des auteurs, il fournit une solution complète du problème de la transmission de la force dans les cas où, comme pour l'électrolyse et la charge des accumulateurs, les courants continus sont absolument nécessaires ; aussi notre plus grand désir est-il de voir cette solution couronnée prochainement par le succès pratique qu'on est en droit d'en espérer.

F. Guilbert.

APPLICATIONS MÉCANIQUES
DE L'ÉLECTRICITÉ [1]

Le régulateur de *Burrell*, spécialement destiné au réglage très délicat des machines qui commandent les dynamos à éclairage, soumet la valve de prise de vapeur à l'action combinée d'un modérateur à force centrifuge et d'une dynamo tournant à une grande vitesse fonction

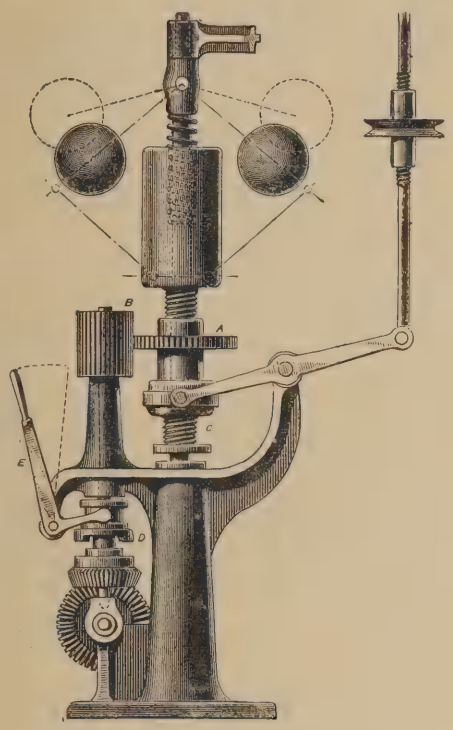


Fig. 1. — Régulateur Burrell.

de la tension du courant. Le régulateur centrifuge agit (fig. 1) en soulevant ou en abaissant directement la vis C et son manchon, enfilés sur son axe de rotation, tandis que la dynamo fait tourner ce manchon par la transmission à embrayage D B A. Tant que B fait tourner A à la même vitesse que C, le modérateur à force centrifuge agit seul; mais, aussitôt que cette vitesse change, par suite d'une variation de potentiel du circuit, la dynamo régulatrice intervient, ouvrant ou fermant la prise de vapeur jusqu'à ce que le potentiel soit relevé ou rabaissé à sa valeur normale. Au départ, quand il ne passe pas de courant dans la dynamo auxiliaire, la résistance de cette dynamo abaisse le manchon *c* jusqu'à l'ouverture complète de la prise de vapeur, qui se maintient ainsi ouverte tant que, la force électromotrice augmentant graduellement, la vitesse de A dépasse celle de C puis ramène l'ouverture de la prise de vapeur à sa valeur correspondant au maintient du potentiel normal [1].

M. Pocock, de la Compagnie *Van Depoele*, a

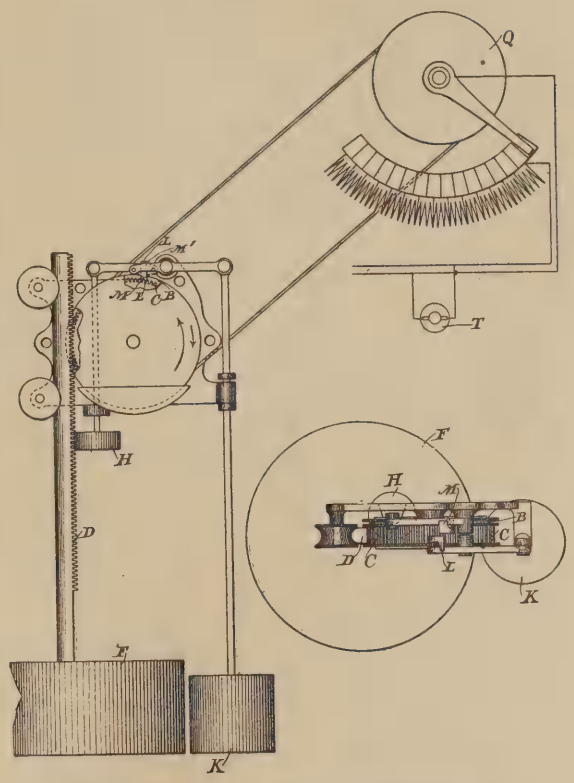


Fig. 2 et 3. — Pompe électrique Pocock (1892).

récemment proposé, pour l'arrêt et la remise en marche automatiques des pompes électriques entre deux limites données des niveaux de l'eau à épuiser, l'ingénieuse disposition représentée par les figures 2 et 3, et qui fonctionne comme il suit.

Les pièces du mécanisme occupant les positions figurées, quand l'eau dans laquelle plongent les flotteurs E et K monte, sa poussée tend à soulever ces flotteurs, mais d'abord sans y parvenir, parce que le cliquet M du troisième flotteur H fixe le pignon C, relié à F par la crémail-

[1] *La Lumière Electrique* du 17 décembre 1892, p. 557.

[1] *The Engineer*, 2 décembre 1892, p. 490.

lère D. C'est seulement quand le niveau de cette eau atteint le flotteur H que ce flotteur, déclenchant le cliquet M du pignon C, lui permet de tourner, sous la poussée de F, dans le sens de la petite flèche, en entraînant par la poulie B le rhéostat Q, qui fait arriver graduellement le courant au dynamoteur T de la pompe.

Le niveau se met alors à baisser, mais le cliquet M' du flotteur K retient le pignon C jus-

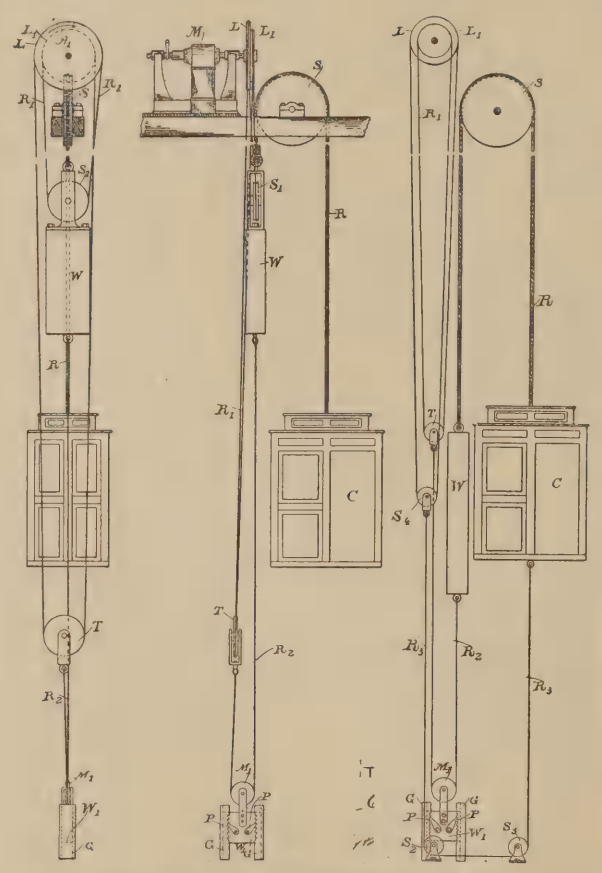


Fig. 4 à 6. — Ascenseur Bassett (1892).

qu'à ce que l'eau, baissée au-dessous du flotteur K, lui fasse déclencher par M' la roue C, qui se met alors, sous le rappel du flotteur F et de sa crémaillère D, à tourner C dans le sens de la grande flèche de manière à supprimer de nouveau le courant au dynamoteur T.

La commande funiculaire de l'ascenseur de *M. Bassett* (Compagnie Thomson-Houston) représentée par les figures 4 et 5 a pour objet de réduire avec le moins de frottement possible la grande vitesse de la dynamo M à celle beaucoup plus lente de la cabine C.

A cet effet, la cabine C est rattachée à un câble R, qui passe, au-dessus de la poulie S, à l'étrier du contrepoids d'équilibre W. Ce contrepoids est égal au poids de la cabine augmenté de la moitié de sa charge maxima.

L'arbre de la dynamo porte deux poulies de diamètres inégaux, ou différentiels, L et L', et la corde sans fin R' passe de L', autour de la poulie S', montée dans l'étrier de W, à la poulie L, puis revient de L à L' par le galet mobile T, dont la chappe est reliée, par le galet M' et le renvoi R_2, au contrepoids W. Le galet M' est un

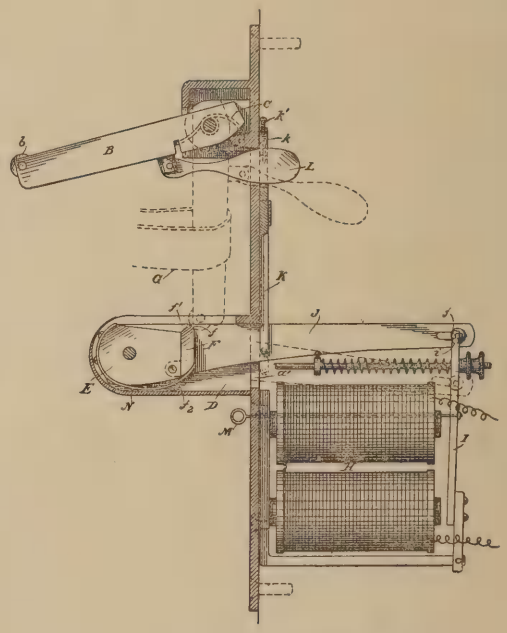


Fig. 7 — Déclenchement Hewett (1892).

tendeur à poids W', retenu par les crémaillères G G et les cliquets P P, à mesure qu'il descend en ratrappant les allongements de la corde R'.

De ce que le contrepoids W l'emporte sur la cabine de la moitié de sa charge, il résulte que, si l'on fait tourner L L' dans le sens de la flèche A', la corde R', qui s'enroule sur L plus vite qu'elle ne se déroule de L', tire par R_2 le contrepoids W avec une vitesse proportionnelle à la différence L-L' des diamètres de L et L', et avec une force égale au plus, abstraction faite des frottements et en dehors du démarrage, à la moitié de la charge de la cabine supposée pleine; si l'on marche en sens inverse de la flèche A', c'est, au contraire, la chappe S' qui devra soulever le contrepoids avec une force égale toujours

au plus à la demi-charge de la cabine supposée descendre à vide.

On voit, qu'avec ce dispositif, la plus grande partie du poids des masses en mouvement porte sur l'axe à marche lente de la poulie S, tandis que les axes moteurs n'ont à porter que des charges relativement faibles, ce qui diminue notablement leur fatigue et leurs frottements.

La variante représentée par la figure 6, avec

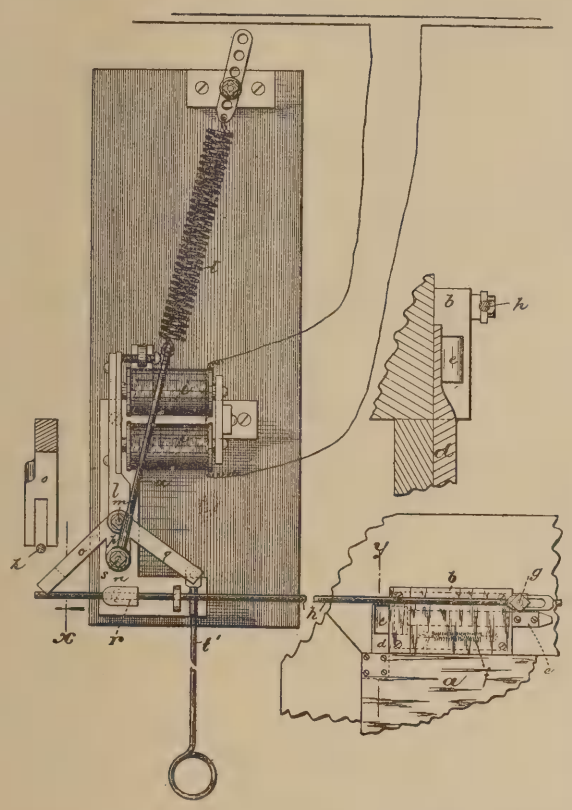


Fig 8 et 9 — Verrou Bosh (1892).

les mêmes lettres que pour le mécanisme de la figure 5 n'en diffère que par l'addition du moufflage S_1, à renvoi R_3 S_2 S_3 R_3 sous la cabine C, de sorte que la descente de cette cabine s'opère en tirant sur R_3 et non sur le contrepoids comme en S' (fig. 4).

Le déclenchement électrique de *M. Hewett*, représenté par la figure 7, est à la fois très simple et très sensible. Quand le levier B passe, pour s'enclencher, de la position pleine à la position pointillée, son galet *b* repousse autour de f_2, et malgré son ressort N, le talon F*f'* du levier EJ, et s'y enclenche, car, pour se dégager, il faudrait que le galet *b* pût, en repoussant *f*, abaisser autour de E le levier J, ce qui est impossible, parce que le couteau *j* appuie sur le couteau *i* de l'armature I.

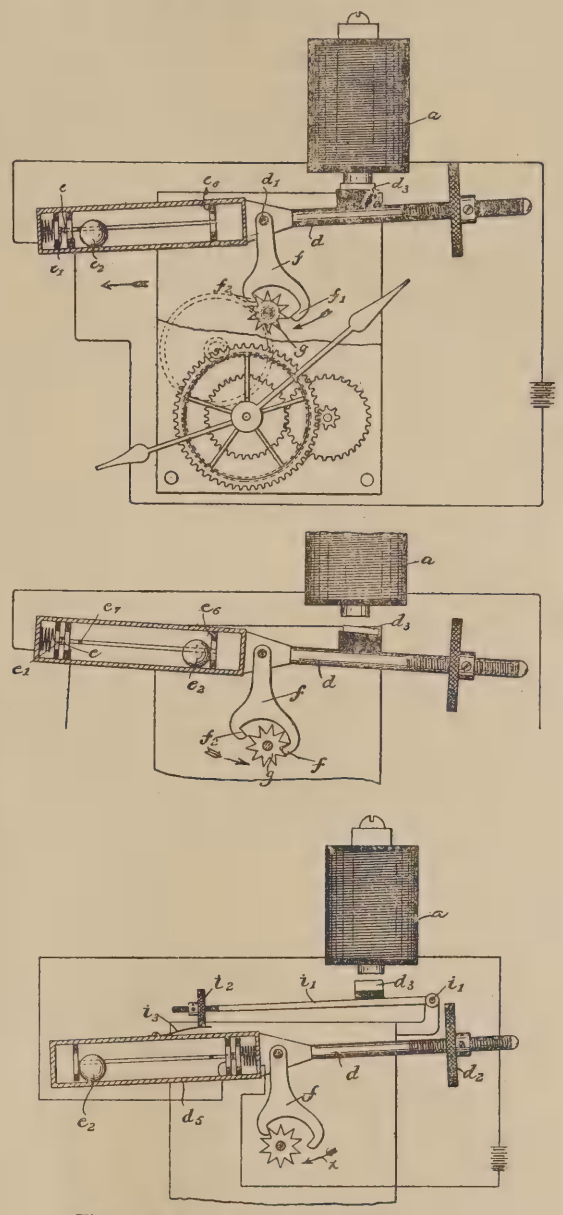


Fig. 10 à 12. — Horloges Ethridge (1892).

Au contraire, dès que l'électro H attire I, *i* se sépare de *j*, et le levier J tombe, par son poids et par la poussée du levier B sur le plan incliné *f*, de sorte que le levier B, passant aussitôt, sous l'action de son ressort *c*, de la position verticale à la position horizontale, lâche la courroie G, par exemple, qu'il maintenait accrochée.

En même temps qu'il se relève, le levier B entraîne dans l'ouverture *k* de la coulisse K la languette L, qui force ainsi cette coulisse à remonter et à ramener le levier J à sa position horizontale en même temps que I se trouve ramené sous le couteau *j* par le ressort *a'*.

La tringlette M permet de déclencher à la main l'armature I, et la vis *k'* de régler la montée de *k*.

Le verrou électrique de *M. Bosh*, représenté par les figures 8 et 9, est principalement destiné à l'ouverture automatique des portes des hangars ou des écuries où sont enfermés les pompes à incendie et leurs chevaux, dont le service est, dans certaines villes américaines, à New-York notamment, organisé, comme on le sait, d'une façon particulièrement remarquable.

Dès que le courant cesse de passer dans l'électro-aimant *i i*, son armature *l*, pivotée en *m*, permet au ressort *t* de la faire tourner, ainsi que sa fourche *o q*, d'abord avec une faible force, puis avec un moment toujours croissant, jusqu'à ce que le bras *o* vienne, en frappant le taquet *r* de la tringle *h*, retirer par *g b*, le pêne *e* du loquet *d*, de manière à permettre à la porte *a* de s'ouvrir.

Après avoir refermé la porte, on renclenche le pêne *c* sur *d* par la corde *t'*, et les pièces restent dans cette position de fermeture parce que l'attraction de *i* sur son armature *l*, même très faible, suffit pour la maintenir, en raison de la petitesse du bras de levier *t m*, en cette position de fermeture.

L'organe caractéristique de l'horloge de *Ethridge* est (fig. 10 à 12) son interrupteur ou commutateur automatique à boule c_2, constitué par une sphère métallique roulant dans un tube de verre où l'on a fait le vide afin d'éviter les oxydations, et qui forme l'une des extrémités d'un levier *d*, pivoté en *d'*. Quand l'électro-aimant moteur *a* attire le levier *d* dans la position figure 10, la boule c_2 vient, en frappant la butée c_7, séparer le contact *c'* de *c*, et rompre ainsi le circuit de *a*, lequel, lâchant son armature, laisse *d* retomber comme en figure 11, jusqu'à ce que la boule c_2 vienne, en frappant c^6, refermer le contact *c c'* : et ainsi de suite indéfiniment.

Le levier *d* commande par l'ancre *f* la première roue *g* du mécanisme d'horlogerie, toujours dans le même sens, tantôt par *f'* (fig. 10) puis par f_2 (fig. 11).

On peut, au lieu de fixer l'armature d_8 directement au levier *d*, ce qui a l'inconvénient de rendre l'horloge sensible aux variations de l'intensité du courant dès qu'elles dépassent certaines limites, on peut fixer, comme l'indique la figure 12, cette armature à un levier auxiliaire *i'* de manière que la durée des oscillations de *d* soit à peu près indépendante de la rapidité avec laquelle *a* attire son armature d_3, car *d* oscille, sous l'influence du balourd d_2, avec toute la puis-

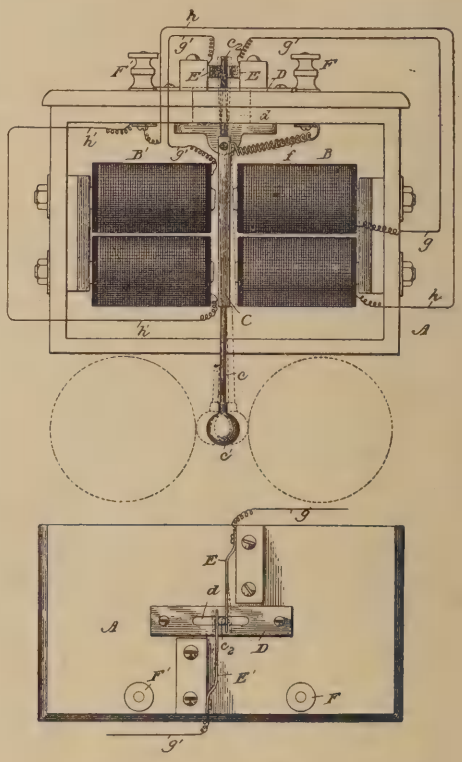


Fig. 12 et 13. — Sonnerie Ross (1892).

sance de ce balourd aussitôt que i_2 se sépare du ressort i_8, c'est-à-dire presque dès l'excitation même de *a*. En fait, avec cette dernière disposition, chacune des moitiés de la double oscillation de *d* est aussi régulière que si elle s'opérait sous l'action de la pesanteur seule.

Le fonctionnement de la sonnerie de *Ross*, représentée par les figures 12 et 13, est le suivant :

Au départ, quand le pendule C se trouve à égale distance des deux électros B et B', le courant, admis en F, passe par *f*, le prolongement métallique c_2 de la tige du timbre *c*, ses deux contacts E et E' et les fils *g* et *g'*, aux deux élec-

tros B et B', puis retourne à la pile par *h h'* et la borne F'. Comme les deux électros ne sont jamais rigoureusement égaux, ni rigoureusement symétriques par rapport à C, le plus puissant ou le plus rapproché, B, par exemple, attirera l'armature, ce qui rompra son circuit en c_2 E,

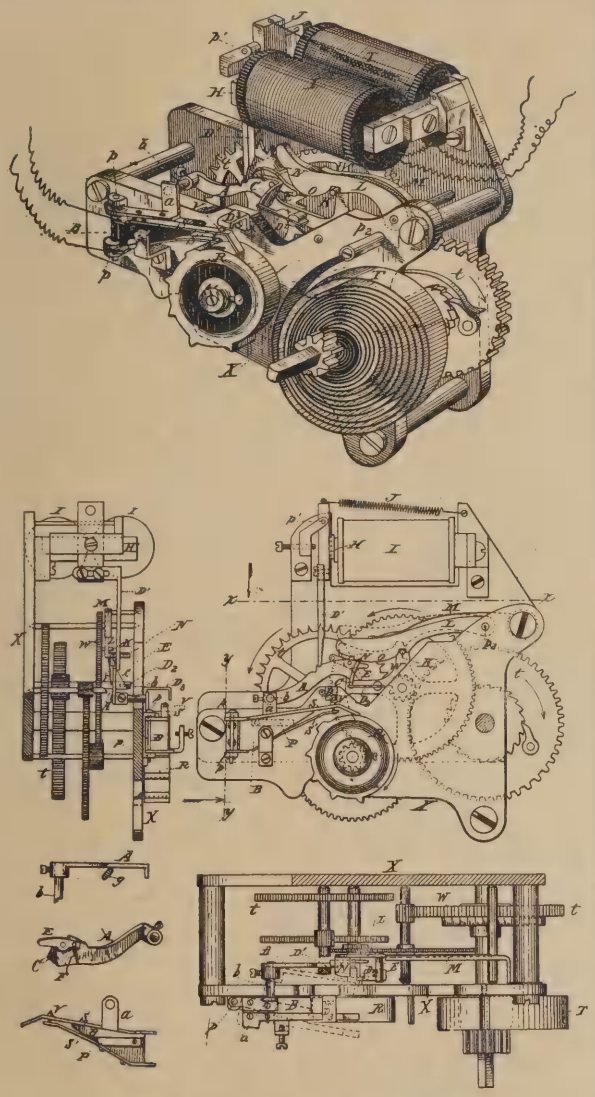


Fig. 14 à 20. — Appel Decrow (1892).

et rétablira celui de B' en c_2 E', de sorte, qu'après le coup frappé par B, B' frappera le sien, et que le timbre se mettra à vibrer très rapidement, aidé par les réactions mêmes des ressorts E et E'. Le mécanisme de ce trembleur est remarquable pai sa simplicité et la sûreté de son action, principalement au départ, sans exiger pratiquement aucun réglage.

L'appel de police ou d'incendie de *Decrow*, représenté par les figures 14 à 20, fonctionne de la façon suivante.

Supposons que l'on interrompe seulement le circuit de l'appel au moyen d'un commutateur placé à une distance quelconque de l'appareil, mais sans que l'on ait déclenché son mécanisme. L'électro-aimant I lâche son armature D', que le ressort J déclenche du levier A, mais la détente D_2, qui reste engagée avec le plan incliné C du

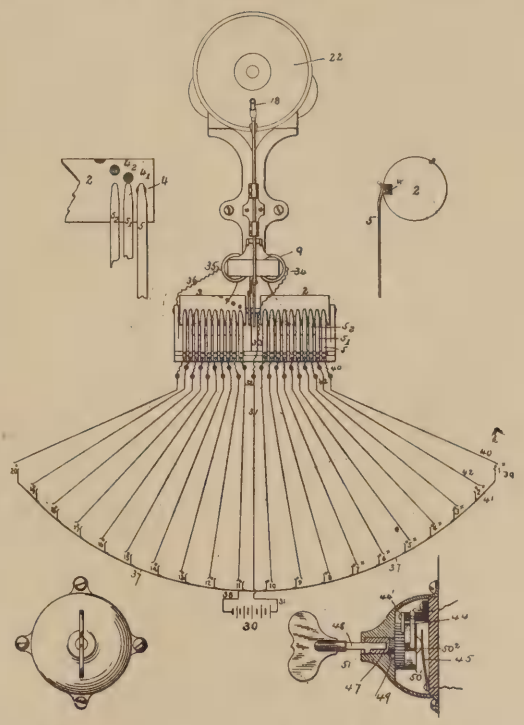


Fig. 21 à 25. — Contrôleur de rondes Tilden et Hersey (1892).

levier A (fig. 19), le maintient, et maintient aussi, par *b* et *a*, le levier B et ses ressorts de contact S et T' (fig. 20), sur la roue d'émission R.

Si, au contraire, le mécanisme, à ressort T, peut tourner, comme cela a lieu ordinairement en circuit fermé, la roue W entraînant la détente D_2, lui fait lâcher le plan *c* de A ; mais D', attiré par I, maintient A jusqu'à ce qu'une dent de la roue R vienne, en soulevant S et en le séparant de S' (fig. 20), rompre le circuit de I. L'armature D' lâche alors A ; mais il faut remarquer que la pointe V du ressort S se trouve alors sous la butée D_3, et reste maintenu sur la dent de F pendant le déclenchement de D'. Quand cette dent est passée, le ressort S referme,

en retombant, le circuit par son contact avec S', et D', reprend le levier A avant que V ne se soit dégagé de D_3.

Enfin, si l'on déclenche le mécanisme en circuit rompu par le fonctionnement actuel d'une autre boîte d'appel, D_2 lâche C et D' lâche A; mais D_3 ne peut plus enclencher V, parce que, la rupture du circuit se faisant avant qu'une dent de R n'ait appliqué S sur V, le ressort P a repoussé S, comme en pointillé (fig. 17), hors de la portée de F, avant le passage de sa première dent. La boîte

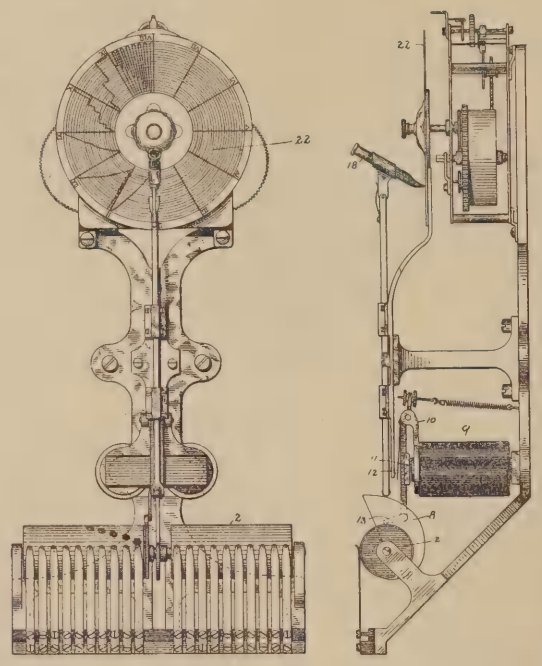


Fig. 26 et 27. — Contrôleur de rondes Tilden et Hersey.

ne peut alors envoyer aucun signal interférant avec ceux de la boîte du circuit primitivement en marche; et, pour lui permettre de fonctionner après la refermeture du circuit, il faut ramener S à la portée de R, et prolonger la rotation de R pendant le temps nécessaire à l'émission d'un signal.

Le replacement de S sur F se fait par la reprise de la détente C_2 sur le plan incliné C de A; ceci fait, et A restant maintenu dans cette position par D', quand D_2 repasse devant A, il fait basculer, malgré son ressort F (fig. 19), le doigt E, qui soulève en N le levier L, de manière qu'il ne vienne pas arrêter la roue W par son bouton K. Le passage de ce bouton sous la partie *o* du levier L le soulève ensuite, et le déclenche en N de E, de manière qu'il puisse retomber, sous l'action de son ressort M, dans la position figurée en traits pleins, prêt à arrêter W par X, s'il n'est pas, après un tour de W, soulevé de nouveau par E. L'appareil se trouve ainsi renclenché automatiquement, prêt à fonctionner par le rétablissement même du circuit à la fin de son occupation par une autre boîte de ce circuit.

La figure schématique 21 représente l'installation du contrôleur de rondes *Tilden et Hersey* pour une vingtaine de stations. La pile 30 est

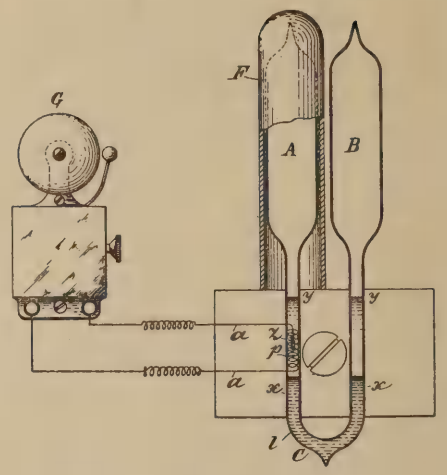


Fig. 28. — Avertisseur d'incendie d'Almeyda et Da Sylva (1892).

reliée par 31 32 33 à l'une des bobines 34 de l'électro-aimant 9, d'où le circuit revient, par l'autre bobine 35, le contact 12 (fig. 27), le fil 36 et l'axe du cylindre 2 2. Sur ce cylindre frottent les contacts 5 5' 5_2... reliés respectivement aux stations 1^x 2^x... 20^x pourvues chacune d'un bouton de contact les reliant à la pile par les fils de retour 37 et 38. Si l'on presse par exemple le bouton 39 du poste n° 1, le courant passera de la pile, par 38, 37, 36, 40, le contact 5, le cylindre 2, pour revenir à la pile par 33-31, de sorte que l'électro-aimant 9 fera tourner par les vibrations de son armature 11 et le cliquet 13 (fig. 27) le cylindre 2 jusqu'à ce que le circuit se rompe par l'arrivée de la touche isolante 4 (fig. 22) sous le contact 5. En même temps, la came 8 du cylindre 2 soulève le style 18 le long du plateau ou cadran 22, qui fait un tour par

heure, de manière à y tracer un trait radial d'une longueur égale à l'espace correspondant sur ce quadrant à deux stations consécutives. A la seconde station, la poussée du bouton 41 déterminera de même le tracé d'un second trait de même longueur, et écarté du premier d'un arc proportionnel au temps employé pour passer de la première à la seconde station, et ainsi de

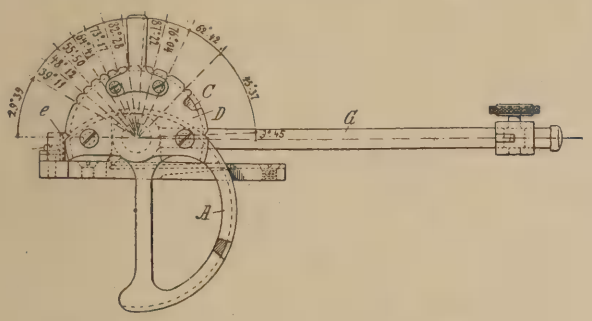


Fig. 29. — Mire électrique Van Skoda (1892).

suite, le quadrant marquant l'heure de chaque pointage ainsi que l'ordre de leur succession. Car si, par exemple, au lieu de passer de la station 2 à la station 3, le veilleur passe de 3 à 10, le cylindre 2 tournera de l'arc compris entre les isolants 4_3 et 4_{10}, de sorte que le style tracera sur le quadrant un long trait radial

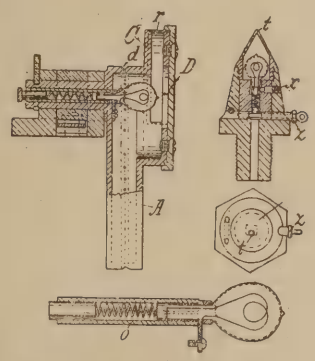


Fig. 30 à 33 — Mire électrique Van Skoda (1892).

correspondant à cet intervalle. Mais il faut, à cet effet, que chacun des boutons 1^x, 2^x... une fois poussé, reste fermé pendant un temps correspondant à une révolution complète du cylindre 2. On y arrive en obligeant l'opérateur à faire exécuter, à chaque poste, un tour complet de sa clef 48 avant de pouvoir la retirer. Cette clef est (fig. 24 et 25) dans ce but, pourvue d'un talon qui ne lui permet de sortir qu'après un tour complet. On la manœuvre en la poussant d'abord, de manière à sortir le talon 49 du bouton de son encoche; puis on tourne, mais seulement dans le sens permis par le rochet 44', de sorte que le disque 50' doit faire un tour complet avant de rompre de nouveau le circuit par l'isolant 50^2. Le talon 49 est alors revenu devant son encoche, et celui de la clef devant la saignée 51, de manière, qu'en la retirant, le ressort de contact 50' repousse 50 et le conserve immobilisé en position de rupture par le talon 49.

Le temps nécessaire pour tourner ainsi la clef 48 est plus long que celui qu'il faut à l'électro 9 pour faire accomplir une révolution au cylindre 2.

L'avertisseur d'incendie de *MM. G. d'Almeyda et Da Sylva* est à la fois ingénieux et fort simple. Il consiste (fig. 28) en deux poches de verre A et B, l'une protégée de la chaleur par une enveloppe F, l'autre à nu, reliées par un tube C, et renfermant toutes deux de l'air. Le tube C renferme en *l* de l'acide nitrique, surmonté de chaque côté de colonnes égales de pétrole *xy*; enfin, dans la branche de A, se trouvent les éléments d'une petite pile *z* zinc et platine *p*. Quand la température augmente en B, l'acide nitrique, refoulé sur la pile par la dilatation de son air, excite cette pile, qui fait partir la sonnerie G. Le pétrole préserve en temps ordinaire la pile des vapeurs de l'acide.

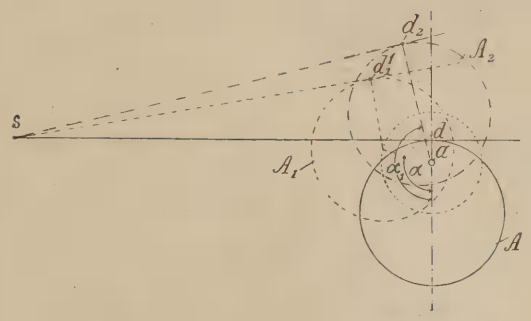


Fig. 34. — Mire électrique Van Skoda (1892).

Les canons rapides *Van Skoda* sont (fig. 29 et 30) pourvus de deux hausses : une hausse à coulisse ordinaire G, pour les longues portées, et une hausse excentrique A pour les portées moyennes. Cette hausse est constituée par un excentrique qui porte une gorge de mire *d*, dont on fait varier l'élévation par rapport au point de mire S (fig. 34) comme en $d\,d_1\,d_2$... en amenant successi-

vement l'excentrique en A A_1 A_2... Cet excentrique est manié par une poignée *k*, fixée sur le disque gradué D, à cliquet de retenue *e*, et pourvu d'un limbe gradué *r*, en celluloïd, éclairé la nuit par la lampe L, qui éclaire aussi la visée par les trous percés obliquement dans la gorge *d*. Cette lampe est soigneusement emmanchée dans un tube d'ivoire ou d'ébonite *o*.

Le point de mire est aussi pourvu d'une lampe qui envoie sa lumière par la pointe de celluloïd *t* (fig. 31 et 32). La lampe est emmanchée dans un petit socle d'ébonite avec garniture en caoutchouc. Son filament est relié à la pile par le contact *z*, et au retour par la vis *x* et le canon même. Quand on fait passer le courant, la petite fenêtre *t*, tournée vers le pointeur, paraît comme un point rouge, et la gorge de visée *d* comme une raie verte sans scintillement.

APPLICATIONS MÉCANIQUES

DÉCRITES DANS MES PRÉCÉDENTS ARTICLES

Allumeurs Bancroft, Burr, 15 mai 1886, p. 290, 291; Clarke et Coâtes, Culp, 1er fév. 1890, 24; Hogan, 1er fév. 1890, 209; Hamilton, 29 oct. 1892, 214; Kleinkerfuss, 15 mai 1890, 290; Lenaerts, 1er fév. 1890, 212; Longshaw, 15 mai 1886, 290; Mollison, 1er fév. 1890, 210; Nee, 1er fév. 1890, 208; Orling, 27 oct. 1892, 214; Rousseau, Schiller et Meyer, 1er fév. 1890, 209.

Arrêt Tyrell, 9 juillet 1892, 63.

Artillerie. — *Freins pour canons* Hill, 3 janv. 1891 22. — *Manœuvres* Canret, 3 janv. 1891, 20; Fiske, 3 janv. 1891, 23; Maxim, 6 fév. 1886, 249; 2 janv. 1892, 25; Vavasseur, 16 avril 1892, 112. — *Mises en feu* Mac Evoy, 13 avril 1889, 63; Morris, 24 mai 1890, 370; Noble, 13 avril 1889, 63; 3 janv. 1891, 23. — *Mitrailleuses* Gatling, 3 janv. 1891, 24; American Cº, 5 juin 1885, 452. — *Pointeurs* Anderson, 5 déc. 1891, 459; Bessemer Crompton Oriole, 13 avril 1889, 60; Fiske, 24 mai 1890, 369; 8 oct. 17 déc. 1892, 61, 565; Mac Evoy, 8 oct. 1892, 60; Pola, 17 janv. 1891, 127; Siemens, 5 déc. 1891, 459; Von Markoff, 23 juillet 1892, 153.

Ascenseurs Baxter, 17 déc. 1892, 560; Clark, 3 sept. 1892, 455; Coyle, 4 juin 1892, 456; Eickemeyer, 6 juin 1891, 462; Electric Elevator Cº, 17 janv. 1891, 121; Herdman, 9 avril, 29 oct, 1892, 57, 209; Hollock, 12 janv. 1889, 54; Léonard, 9 avril 1892, 59; Judson, 13 août 1892, 309; Neuburger, 9 auril 1892, 60; Otis, 17 janv., 6 juin 1891, 123, 459; 6 fév., 9 avril 1892, 263, 63; Pratt, 4 janv. 1892, 454; Wright, 3 sept. 1892, 454.

Astronomie — Télescopes photographiques Grub, 22 mars 1890, 567.

Avertisseurs d'incendie Compania Elettricista, Heat Alarm Cº, 16 avril 1892, 112; Fire Alarm Cº, 5 déc. 1891, 457; Firman, 23 juillet 1892, 156. — *Avertisseurs* Lave, 29 oct. 1892, 214; Neu, 5 déc. 1891, 458.

Bascules et balances Avery et Inelgrove, 10 janv., 28 sept,, 5 déc. 1891, 92, 604 et 454.

Boussoles autodirectrices Basset, 3 sept. 1892, 452; Chase, 1er mars 1891, 407; Hope, 23 juillet 1892, 161; Von Piechl, 18 juillet 1891, 117.

Bateaux Heilman, 29 oct. 1892, 208.

Cabestan Grimston, 4 jnin 1892, 453.

Chirurgie. Maillets dentaires Bonwell, Kirby, 13 oct. 1888, 59.

Chronographe Wells, 3 sept. 1892, 457.

Comparateurs Emery Hunter, 4 jan., 17 déc. 1892, 452, 563.

Compteur Jardine, 16 avril 1892, 114.

Coupeuse Mann, 16 avril 1892, 113.

Cyclographe Butcher, 3 sept. 1892, 458.

Casse-fils Beyer et Gernsheyn, Brooks, Clute et Stevenson, 3 sept., 9 juillet, 29 oct. 1892, 455, 63, 213; Landrin, 13 octobre 1888, 55.

Débrayages North, 4 juin 1892, 464.

Embrayage De Bovet, 5 déc. 1891, 452; 8 et 29 oct. 1892, 63, 212; Jenkin, 9 janv. 1892, 66; Roworth et Sagers, 13 oct. 1888, 58; Siemens, 6 juin 1891, 458; 5 déc. 1891, 459; Williams, 5 déc. 1891, 452.

Enregistreurs Cooper et Wigzell, 2 nov. 1889, 217; Drake et Dorman, 3 janv. 1891, 27.

Essoreuse Hutchinson, 24 mai 1890, 361.

Freins Walgren, 23 juillet 1892, 159; Wilson, 16 avril 1892, 109.

Fusils American Arms Cº, Russell, 5 juin 1889, 449.

Girouette Haight, 9 juillet 1892, 64.

Gouvernails Elder, Caselli, Washburn, Symon, 27 mars 1886, 601; Cory, 17 déc. 1892, 561; Fiske, 19 sept. 1891, 571; Grimston, 13 avril 1892, 309; Hutchinson, 22 mai 1890, 357; Schuckert, 22 mai 1890, 358.

Grues Buchin et Tricoche, 2 nov. 1889, 204; Siemens, 23 juillet 1892, 154,

Haveuses Atkinson, 6 fév. 1892, 267; 9 juillet 1892, 59; Bower, 23 août 1884, 291; Brain, 3 oct. 1891, 23; Chenot, 23 août 1884, 290; Golden, 3 oct. 1891, 24; Jeffrey, 2 nov. 1889, 216; Keil et Westerdall, 9 juillet 1892, 60; Michaelis, 24 mai 1890, 359; New-Arc, 2 avril 1892, 10; Sperry, 9 et 23 juillet 1892, 57, 163; Tennet, 23 août 1884, 294.

Horloges Alteneck, 17 juillet 1891, 122; Berry, 17 déc. 1892, 562; Ellis, 29 oct. 1892, 210; Fairgreaves, 16 avril 1892, 115; Guncher, 10 janv. 1891, 71; Hammer, 6 juin 1891, 456; Laney, 6 fév. 1892, 270; May, 8 oct. 1892, 63; Ploeg, 6 fév. 1892, 268; Pope, 17 juillet 1891, 122; Pouchard, 24 mai 1890, 365; Prentiss, 19 sept. 1891, 71; Prockoroff, 6 juin 1891, 456; Reclus, 10 janv. 1891, 67; Schweitrer, 19 sept. 1891, 570; 23 juillet 1892, 154; Scholler et Jahr, 5 déc. 1891, 463; Schubert, 19 sept. 1891, 569; Schmidt, 13 août 1892, 311; Seales, 17 juillet 1891, 121; Weston, 29 oct. 1892, 211.

Indicateurs Cox, 3 janv. 1891, 26; Haight, 9 juillet 1892, 64; Mac Gregor, 3 janv. 1891, 26; Siemens, 12 janv. 1889, 27; 29 oct. 1892, 211; Walker, 8 oct. 1892, 62.

Indicateurs de stations Ayers, 13 août 1892, 310.

Interrupteurs Woodward, 23 juillet 1892, 157.

Lochs Faymonville, Loup, Raworth, 28 août 1886, 507; Granville, 3 janv., 17 juillet 1891, 24, 120; Lopez de Haro Munoz, 2 nov. 1889, 217.

Locomoteurs pour mines Edison, Jeffrey, Schesinger, Van Depoele, Walker et Immish, 30 oct. 1891, 17 à 23; Atkinson, 3 août 1892, 304.

Machines à écrire Mac Langlin, 15 octobre 1888, 57; Reed, 9 juillet 1892, 63; 29 oct. 92, 213.

Machines à essayer Goodman, 2 nov. 1889, 221; Olsen, 23 août 1891.

Machines-outils Jenkin, 9 janv. 1892, 65.

Manomètres Barett et Douty, 3 sept. 1892, 457.

Métiers Kimboll et Browett, Radiguet, 2 nov. 1889, 217.

Mouton à pieux Hutchinson, 24 mars 1890, 361.

Niveau Mathews, 16 avril 1892, 110.

Paliers graisseurs Hamilton, 24 mai 1890, 361.

Passe-écheveaux Foster, 8 oct. 1892, 65.

Perceuses Clark et Standfield, 23 août 1884, 289; Hougton, Linders, Sauter, 6 fév. 1892, 265; Rowan, 9 juillet 1892, 62; Siemens et Baily, 13 août 1892, 307; Weyburn, 29 oct. 1892, 213.

Perforatrices Atkinson, 13 janv. 1889, 4; Ball, 23 août 1884, 289; Birkin, 13 oct. 1892, 305; Bolton, 16 avril. 9 juillet 1892, 116, 57; Mackey, 13 oct. 1892, 307; Marvin, 22 mars 1891, 73; 8 oct. 1892, 57; Philipps et Harrison, 13 oct. 1888, 2; Pieper, 9 juillet 1892, 57; Siemens, 13 oct. 1892, 306; Storey, 22 mars 1890, 573; Threfail, 9 juillet 1892, 57.

Plume Philipps, 17 déc. 1892, 566.

Poinçonneuses Hilles, 17 déc. 1892, 559.

Pompes Electrical Eng. C°, Hall, 24 mai 1890, 362; Goolden, 3 oct. 1891, 26; Jubilee Colliery, 17 déc. 1892, 558; Mines Saint-Jean, 22 mars 1891, 23; Michaelis, 12 oct. 1888, 55; Van Dépoele, 5 déc. 1891, 555; 16 avril 1892, 109. — *A incendie* Dewey, 17 déc. 1892, 456; Siemens, 16 avril, 6 fév. 1892, 110, 271.

Ponts roulants Bon et Lustrement, 2 nov. 1889, 204; Dujardin, 17 janv. 1891, 116.

Presses Kormeyer, 17 déc. 1892, 560.

Régulateurs Amet, 19 mars 1887, 561; Bosanquet et Tomlinson, 21 nov. 1885, 343; 19 mars 1887, 563; Copeland, 17 janv. 1886, 105; Cook, 24 mai 1884, 305; Crompton, 17 janv. 1886, 104; Edison, 17 janv. 1886, 104; Elliot, 12 sept. 1891, 505; Garlaud, 16 avril 1892. 108; Girwood, 31 mai 1884, 323; Goolden et Trotter, 19 mars 1887, 563; Hedges, 21 nov. 1885, 343; Jameson Alley, 17 janv. 1886, 102; Jenkin, 21 nov. 1885, 343; Johnson, 10 oct. 1886, 670; Jones. 27 juin 1891, 616; Kennedy, 27 juin 1891, 617; Lévy, 17 janv. 1886, 103; Maddison, 27 juin 1891, 619; Mudd, 31 mai 1884, 304; Parsons, 27 juin 1891, 618; Pisell, 17 janv. 1891, 126; Ravenshaw, 17 juin 1891, 620; Replogle, 13 août 1892, 308; Richardson, 24 mai 1884. 304; 21 nov. 1885, 341; Sanke, 21 nov. 1885, 341; Shepard, 27 juin 1891, 617; Smith, 10 oct. 1886. 65; Tangwall, 10 oct. 1886, 660; Wahlstrom, 27 juin 1891, 619; Westinghouse, 24 mai 1884, 305; Willans, 24 mai 1884, 303; 17 janv.. 21 nov. 1885, 100, 337, 19 mars 1889, 562; Wilson, 24 mai 1884, 303.

Serrures Harris, 3 janv. 1891, 29; Griffin, 5 déc. 1891, 453.

Sondes Balch, 12 janv. 1889, 56; Cooper et Wigzell, 2 nov. 1889, 218.

Sondages de puits Gardner, 9 juillet 1892, 62.

Sonnerie Thron, 17 déc. 1892, 565.

Télémètre Fiske, 24 mai 1890, 367.

Téléthermographe Dibble, 23 juillet 1892, 157.

Thermostats Beers, 23 juillet 1892, 160; Johnson, 2 nov. 1889, 220; Roberts, 29 oct. 1892. 214; Shiels, 8 oct. 1862, 63.

Timbreurs American Postal C°, 9 juillet 1892, 64; Glover, 2 avril 1892, 11; Rendall, 3 janv. 1891, 29.

Tirelire Dowsing, 23 juillet 1892, 158.

Torpilles Balland, Faster, Lay, Mallory, Nordenfeldt, Pugibet, Smith, Williams (août, sept. 1883; 16 août, 20 déc. 1884; Brin, Chapman et Waddington (7 avril 1888, 16); Berdan, 3 sept. 1892, 453; Hurrel, 2 janv. 1892, 22.

Transmetteur Mordey, 24 mai 1890, 364.

Transbordeur Chamberlain, 17 janv. 1891, 12.

Treuils Eickemeyer, 6 juin 1891, 460; Crompton, 3 oct. 1891, 30; Electric Elevator C°, 17 janv. 1891, 121; Guigenet Hopkinson, 13 oct. 1888, 53; Holrich, 24 nov. 1890, 363; Siemens, 6 juin 1891, 460.

Ventilateurs Beers, 29 oct. 1892, 212; Crooker, Wheeler. Simonds et Watel, 20 mai 1890, 360; Kintner, 9 janv. 1892, 65; Lundell, 23 juillet 1892, 163.

GUSTAVE RICHARD.

LA THÉORIE POSITIVE DE L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE

CONFIRMÉE PAR DES OBSERVATIONS ET EXPÉRIENCES NOUVELLES [1].

Les observations sur l'électricité atmosphérique, qui sont résumées ci-après, furent commencées en 1848. Le premier mémoire que je publiai sur cette question date de 1850. En 1852, je passai de mon petit observatoire privé, placé sur la colline de Capodimonte, à l'observatoire du Vésuve, admirablement situé pour des observations de cette nature. En 1860, j'eus également à diriger une petite station météorologique qui prenait son essor à l'université de Naples et qui fut plus tard réunie télégraphiquement à l'observatoire du Vésuve. Dans cette longue période, qui s'étend jusqu'en 1892, j'eus l'occasion, tout en poursuivant sans relâche mes études et mes expériences sur le même sujet, de publier de nombreux mémoires dont une partie fut insérée dans les *Annales* de l'observatoire, et dont le plus grand nombre parut dans les *Annales* de diverses académies ou dans des revues scientifiques. J'ai toujours écrit en italien, ce qui fait que les étrangers ont eu rarement l'occasion de connaître mes travaux. Mais dans

[1] *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Naples*, 1892. Traduit de l'italien par M. Marcillac.

ces dernières années un mémoire récapitulatif, publié d'abord dans les Actes de la Société italienne des Sciences, traduit en allemand par M. Discher, puis en français par MM. Marcillac et Brunet, et imprimé chez Gauthier-Villars en 1885, vint provoquer une sorte de réveil suivi de controverses. Ce mémoire résumait toutes les recherches que j'avais faites jusqu'alors et qui étaient à peu près inconnues.

Il était naturel que ceux qui n'avaient pas eu connaissance de tous ces mémoires fussent induits en erreur et fissent des objections à la théorie nouvelle que j'édifiais.

Il en résulta que je dus souvent faire de nouvelles expériences pour répondre à certaines critiques ou rappeler des mémoires déjà publiés, pour répondre à d'autres. En l'état actuel, il m'est nécessaire de fournir des éclaircissements sur les lois que j'ai énoncées, à deux éminents écrivains français. L'un est M. André (1), directeur de l'observatoire de Lyon, auteur d'un récent ouvrage : *Relations des phénomènes météorologiques*, etc..., qui recueille depuis plusieurs années des observations de météorologie électrique à l'aide d'un appareil enregistreur Mascart : le second est M. G. Dary, auteur du savant traité *L'Électricité dans la nature*, qui expose avec beaucoup de bienveillance la méthode, les instruments et les lois que j'ai pu créer ou énoncer.

Afin que mes explications paraissent plus nettes à ces deux éminents écrivains, je me permettrai d'exposer quelques-unes de mes plus récentes expériences, qui serviront à dissiper tous les doutes sur mes conclusions. J'ai appelé *positive* ma doctrine, parce qu'elle est l'expression pure des expériences que j'ai instituées ou des observations poursuivies pendant tant d'années, qui ont fait dire à la *Revue internationale d'électricité* « M. Palmieri *seul est sorti* du domaine des hypothèses. »

M. André, après avoir exposé les résultats tirés de l'étude des courbes quotidiennes de l'appareil enregistreur, examine les diverses théories plus ou moins hypothétiques à l'aide desquelles on s'est efforcé de déterminer l'origine de l'électricité atmosphérique. Après avoir parlé de celles de Peltier, d'Exner et de Sohncke, qu'il trouve insuffisantes, et en négligeant certaines autres, parmi lesquelles est celle d'Edlund, couronnée par l'Académie des Sciences de France, il résume, de façon plus ou moins incomplète, la mienne, à laquelle il oppose deux arguments, formidables en apparence et faciles à combattre. J'ai soutenu que l'origine la plus directe des manifestations électriques de l'atmosphère est la condensation de la vapeur d'eau qui s'y trouve contenue : elle augmente, par suite, avec l'humidité relative et plus encore avec la formation des brouillards et des nuages, pour atteindre son maximum lors de la chute de la pluie, de la grêle ou de la neige. M. André dit ceci : « Il convient d'insister d'abord sur la différence des phénomènes électriques présentés par la pluie, la neige ou le brouillard, ceux dus à la pluie étant pour la plupart négatifs, tandis que les autres sont au contraire généralement positifs. » Cette objection m'attriste, car elle démontre que je n'ai pas été compris, même par des hommes éminents comme M. Ch. André. Cependant j'ai toujours dit et répété que *là où tombe la pluie, on a presque toujours une forte électricité positive* et qu'il se manifeste autour de la région de la pluie même, une zone d'électricité négative (1) suivie d'une autre zone d'électricité positive.

Cette forte électricité positive qui se développe avec la pluie, soit d'orage, soit tranquille, avec la neige et avec la grêle, dure comme elles et disparaît avec elles; ce qui fait que le nuage qui se résout en eau ou en neige doit être considéré comme une abondante source d'électricité

(1) Je saisis l'occasion qui m'est offerte de dire combien j'ai déploré l'accident dont M. André a été récemment la victime, dans sa tentative aérostatique, et combien le dénouement tragique de cette expérience a été pénible à tous ceux qui connaissent le courageux physicien.

L. P.

(1) Cette zone d'électricité négative entoure non-seulement la pluie, mais aussi la neige et mieux encore la grêle. Parfois je dis « pluie » pour abréger, mais la loi est la même pour la grêle et la neige. Les gouttes de pluie devraient en se rapprochant du sol, manifester l'électricité négative comme tous les corps qui descendent, mais il n'est pas facile de le discerner à cause de la forte influence de l'électricité positive dominante. J'ai fait quelques essais à ce sujet, mais je n'ai pas obtenu de résultat suffisamment sûr. MM. Julius Elster et Hans Geitel, en Allemagne, avec un appareil approprié, en évitant l'influence de l'électricité positive dominante, seraient parvenus à démontrer ce que l'on pouvait soupçonner. Un compte rendu de ces expériences a été fait dans *La Lumière Électrique*, t. XL, p. 546.

positive dont l'intensité est proportionnelle à celle des averses : quand celles-ci sont très fortes et quelque peu circonscrites, elles engendrent les foudres qui caractérisent les orages. Donc, l'accroissement de l'humidité, l'apparition des nuages ou brouillards, la formation des nuages et leur résolution en pluie, grêle ou neige représentent une série progressive de manifestations électriques croissantes jusqu'aux pluies d'orage avec ou sans grêle. L'électricité négative se manifeste avec les pluie, grêle ou neige à distance, et par conséquent comme induite par l'électricité positive qui provient du nuage qui se résout en eau ou en neige (fig. 1); car on

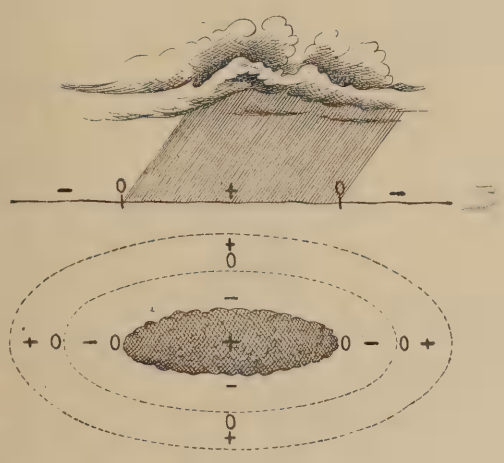


Fig. 1

sait qu'un corps électrisé positivement tend, dans un milieu non conducteur, à s'entourer d'une zone d'électricité négative, laquelle à son tour tend à en engendrer une autre d'électricité positive. Si ayant un grand gâteau de résine, on en électrise une petite portion centrale avec de l'électricité positive et que l'on y répande de la poudre de minium et de soufre, on verra la portion électrisée apparaître sous forme de tache jaune autour de laquelle apparaîtra une zone rouge, ensuite une autre zone jaune, sans que l'on ait employé les deux électricités comme dans les figures ordinaires de Lichtenberg. Les zones dont nous avons parlé, qui entourent la pluie, sont plus distinctes si le ciel est serein dans ces zones.

Je prie les personnes qui veulent juger des faits que j'ai observés pendant quarante-deux années consécutives de lire au moins mon mémoire de 1885 (1), publié en français chez Gauthier-Villars, et j'ajoute que depuis sa publication de nouvelles observations et de nouvelles expériences ont confirmé ce que le mémoire contenait. A la page 36 de cette brochure on trouve, nettement énoncée, la loi des manifestations électriques en temps de pluie, bien que mon expression italienne *forti manifestazioni* ait été traduite par *fortes traces*, ce qui n'est pas la même chose. M Dary l'exprime parfaitement à la page 52 de son ouvrage.

Je crois utile de répéter ce que j'ai fait remarquer plusieurs fois, que l'on peut avoir une forte humidité relative sans indices de forte électricité, attendu que celle-ci se développant avec la condensation de la vapeur, si la condensation s'arrête, l'électricité développée lentement se dissipe, mais l'humidité peut rester. Voilà pourquoi la formation des nuages est précédée de fortes manifestations électriques dans nos appareils, et quand ces nuages sont formés, ils ne donnent pour la plupart aucun indice d'électricité propre. A l'observatoire du Vésuve, j'ai pu faire de nombreuses observations de ce genre, car souvent la station reste plongée plusieurs jours au sein des nuées. Seulement, quand les nuages se résolvent en eau ou en neige ils deviennent des sources abondantes d'électricité : celle-ci revêt les formes dynamiques de façon à pouvoir être observée avec les galvanomètres ou autres instruments semblables, avec courants descendants sous la pluie ou ascendants à une certaine distance de celle-ci, si l'on se trouve dans la zone négative qui l'entoure. Et comme la pluie (2) est une source abondante et continue d'électricité à très hauts potentiels, il est aisé de comprendre pourquoi il se trouve autour d'elle des zones plus étendues lors des averses très fortes, moins étendues lors des pluies moins fortes, et enfin imperceptibles quand il tombe des pluies insignifiantes.

On peut démontrer ensuite que lorsqu'il y a évaporation d'eau, on peut tirer du liquide placé au-dessous de la buée, de l'électricité négative, sans pouvoir distinguer l'électricité positive de la vapeur qui acquiert, en se détendant dans l'atmosphère, une énorme capacité, au point de

(1) *Lois et origines de l'électricité atmosphérique*, par L. Palmieri.

(2) Il faut toujours entendre *pluie*, *neige* ou *grêle*.

rendre inappréciable l'électricité positive qu'elle transporte et qui redeviendra appréciable par la condensation.

J'ai fait de nombreuses expériences à ce sujet, en commençant par démontrer le manque de valeur des essais faits auparavant pour rechercher l'électricité négative de l'eau chauffée dans une coupe de platine, en s'aidant d'un électroscope condensateur [1]; que l'eau chauffée avec une lampe à alcool se charge d'électricité positive, tandis qu'en s'évaporant elle acquiert de l'électricité négative, sans tenir compte du frottement que l'on a invoqué à l'encontre de ceux qui avaient obtenu des résultats favorables. Je ne puis répéter ici toutes les expériences que j'ai faites à ce propos : je rappellerai seulement les plus récentes qui me paraissent de nature à dissiper tous les doutes.

Pendant les mois d'été et sous les rayons cuisants du soleil vers le milieu du jour, j'exposai à l'intérieur d'une salle, sur un pied isolant, une lame de verre sur laquelle était posée une lame de platine d'assez grande surface, et sur celle-ci j'étendis un linge imbibé d'eau qui, une heure après, était frappé par les rayons du soleil : afin d'éviter les gouttes d'eau qui auraient pu couler, je tordis au préalable le linge mouillé avant de l'étendre sur le platine.

Tout étant ainsi disposé, pendant que le chiffon était exposé au soleil, la lame de platine était mise, à l'aide d'un fil de même métal, en communication avec le plateau inférieur d'un électroscope condensateur perfectionné, c'est-à-dire à piles sèches constantes (fig. 2). Mettant le plateau supérieur à la terre et procédant de la façon que chacun connaît, on n'obtenait tout d'abord aucun effet ; mais l'évaporation une fois commencée, en répétant successivement et plusieurs fois l'expérience, on avait de constantes indications d'électricité négative. J'ajouterai qu'en insérant le fil de platine dans le linge humide, on obtenait les mêmes indications, même sans lame de platine. Il faut remarquer que pendant les quatre ou cinq minutes que durait l'expérience, l'eau qui s'évaporait n'atteignait pas deux grammes : ceci soit dit pour ceux qui auraient voulu tirer des étincelles avec une évaporation d'un gramme d'eau en cinq minutes.

[1] *Comptes rendus* de l'Académie des sciences physiques et mathématiques de la Société royale de Naples.

Cette expérience qui, faite de la manière que j'indique, ne paraît avoir été reproduite par personne, ne doit, je crois, rencontrer aucune objection. Elle a été tentée aussi bien avec de l'eau douce qu'avec de l'eau de mer et toujours avec un égal succès. Ici, c'est la nature même qui opère dans les conditions habituelles : l'homme expérimente pour vérifier le fait.

Je recommande à ceux qui voudraient répéter cette expérience de prendre leurs mesures pour enlever à l'aide d'un isolant quelconque la com-

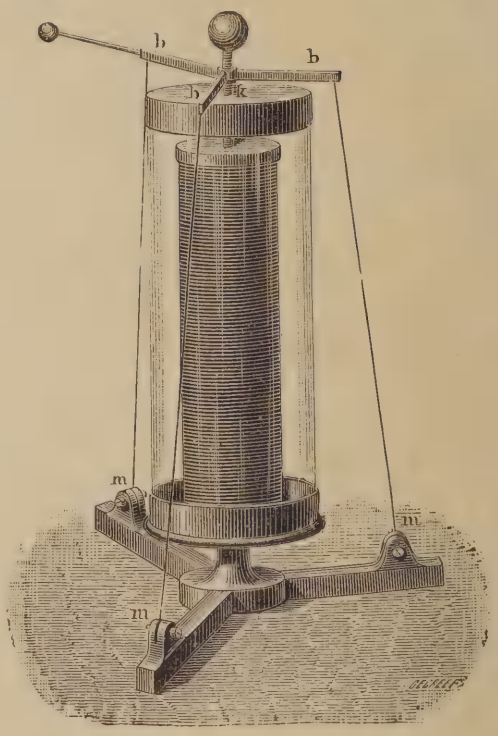


Fig 2. — Pile sèche, modèle Palmieri

munication entre le plateau inférieur de l'électroscope et le linge, en même temps qu'ils enlèveront la communication entre le plateau supérieur et le sol, afin que lorsqu'on soulève le plateau supérieur, l'électricité condensée sur le plateau inférieur ne retourne pas vers le linge humide.

On pourrait, en provoquant une évaporation rapide et en employant le simple électroscope cité plus haut, sans condensateur, observer une électricité plus abondante indiquée par une très forte déviation de la feuille d'or. Je décrirai une expérience que j'ai faite et qui a été citée, en son

temps, dans les comptes rendus de notre Académie.

Je pris une sorte de plat en platine à fond plat avec un rebord de quelques millimètres à peine : je le remplis de poudre de platine des monts Ourals, préalablement bien lavée, et après l'avoir chauffé, sans aller jusqu'à l'incandescence, je le posai sur un anneau de cuivre doré communiquant avec l'électroscope simple. Versant alors sur la poudre de platine quelque peu d'eau, je voyais, pendant que cette eau s'évaporait rapidement, la feuille d'or de l'électroscope annoncer une forte électricité négative. Néanmoins, pour éviter l'objection accoutumée du frottement, qui n'aurait peut-être eu aucune valeur, je préférai recourir à l'évaporation spontanée qui, se produisant avec plus de lenteur, ne peut se manifester sans l'aide du condensateur.

Lorsque Alexandre Volta déclarait que l'on devait considérer comme première origine de l'électricité atmosphérique l'évaporation de l'eau à la surface de la terre, il ne manqua pas de contradicteurs disant que cette électricité pouvait être produite par le frottement de la vapeur contre les parcelles du sol dont elle se détachait. Le physicien de Côme répondait : « Ce sera comme vous le dites, pourvu que vous acceptiez qu'avec l'évaporation il y a développement d'électricité. » J'en pourrais dire autant si l'évaporation spontanée de l'eau du linge mouillé n'enlevait pas toute valeur à cette objection.

La seconde objection que fait l'éminent directeur de l'observatoire de Lyon concerne l'origine directe ou immédiate de l'électricité atmosphérique qui, selon moi, dérive de l'accroissement d'humidité relative dans les couches dominantes de l'atmosphère par des vapeurs qui se condensent plus ou moins, à cause de la basse température de celle-ci, de façon à constituer ou un simple accroissement d'humidité relative, ou de légers brouillards, ou finalement des nuages, de la pluie ou de la neige.

A tout cela, M. André oppose les observations électrométriques et hygrométriques simultanées faites par lui et par M. Exner et desquelles ne résulte pas ce que moi j'affirme. Mais nous tombons ici dans une autre équivoque qu'il faut dissiper.

L'électricité que j'observe avec la méthode du conducteur mobile n'est pas communiquée à celui-ci par l'air environnant ; c'est exclusivement de l'électricité induite par les couches atmosphériques dominantes, par augmentation d'humidité relative ou par condensation de vapeur dans ces couches. Et assurément, sans répéter toutes les preuves expérimentales que je pourrais produire, il suffira d'en donner une seule, c'est que le conducteur mobile qui s'élève rapidement accuse de l'électricité positive et que, déchargé de celle-ci, puis abaissé avec une égale vitesse, il accuse de l'électricité négative. Donc, mettre l'hygromètre dans le milieu où se trouvent les appareils pour les observations électriques et ne pas trouver toujours d'accord ces deux instruments ne signifie absolument rien ; attendu que, comme cela arrive presque toujours, l'humidité relative de la couche d'air où se font les observations peut n'être pas en rapport avec celle des régions atmosphériques plus élevées.

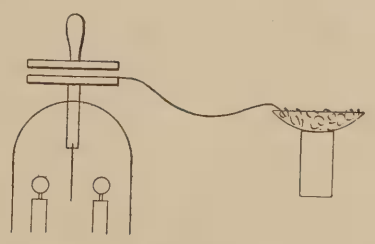


Fig. 3

Non seulement ceci est rationnel, parce que la vapeur transportée en haut par les courants ascendants, trouvant des régions plus froides, doit augmenter leur humidité relative, mais c'est prouvé par des observations simultanées faites à diverses hauteurs, comme à l'Université (altitude 57 mètres), à l'Observatoire de Capodimonte (149 mètres), au Vésuve (637 mètres). D'ailleurs, l'astronome français, M. Flammarion, qui s'est élevé plusieurs fois en ballon, déclare avoir toujours rencontré une couche d'air de très forte humidité relative, souvent assez près du sol et assez fréquemment à une hauteur de plus de mille mètres.

Mais je ne me tins pas pour satisfait et je voulus prouver directement que la vapeur d'eau, en se condensant, développe de l'électricité positive.

Je pris (fig. 3) une coupe de platine de douze centimètres de diamètre : je la plaçai sur le bout d'un tube de verre bien verni à la gomme laque, et

après m'être assuré d'un isolement parfait, je mis, à l'aide d'un fil de même métal, la coupe de platine en communication avec le plateau inférieur de mon électroscope condensateur : je fis les épreuves et n'obtins rien. Ensuite, je plaçai de la neige dans la coupe et répétai immédiatement l'épreuve : la feuille d'or resta immobile. Mais, en moins d'une minute, lorsque la surface extérieure de la coupe se couvrait de rosée, j'obtins constamment des indices d'électricité positive, de façon à ne laisser aucun doute sur la vérité de mon assertion déduite d'observations bien interprétées.

D'autres physiciens n'ont pas, je le sais, réussi cette expérience ; mais en temps et lieu j'ai déjà expliqué pourquoi les résultats obtenus par M. Kalischer en Allemagne et d'autres savants en Italie, ont été négatifs.

Personne n'a, que je sache, reproduit l'expérience telle que je l'indique.

Si quelqu'un voulait rechercher l'électricité que l'on pourrait obtenir à l'aide de liquides très volatils, qu'il veuille bien ne pas oublier que l'évaporation rapide de ces liquides produit un abaissement de température en raison duquel la surface extérieure de la coupe de platine se couvre de rosée en donnant lieu à de l'électricité positive.

Pour ces recherches, dans lesquelles il s'agit de très petites quantités d'électricité se développant lentement, je crois que l'emploi du condensateur est indispensable.

Je répétai l'expérience de M. Kalischer et découvris dans son appareil une faible source d'électricité négative qui devait masquer l'électricité positive que l'on recherchait, et je pus ainsi donner la raison des indications incertaines obtenues avec l'électromètre à quadrants.

M. André a montré deux courbes dont l'une représente la marche de l'humidité relative au cours d'une année et l'autre celle des potentiels ou des tensions correspondantes de l'air. Ces deux courbes se ressemblent tellement qu'elles paraissent être la copie l'une de l'autre. Elles montrent le grand accord qu'il y a entre la marche de l'humidité relative et celle des potentiels. Quant à l'électricité négative du ciel serein, que je trouve correspondre à la zone qui entoure la pluie, d'orage ou non (et quand je dis pluie, j'entends aussi grêle ou neige), sauf le cas de cendres volcaniques ou de sables tombant sur le lieu des observations, Beccaria a noté le fait six fois pendant quinze années d'observations.

M. André cite trois cas, dont deux correspondraient à des orages éloignés, ce qui les réduirait à un seul pour lequel il n'aurait été signalé aucune pluie lointaine. Or, en quarante années, je les ai comptés par centaines et j'ai toujours pu, ou bien voir de la pluie à distance, ou être informé qu'il en était tombé. Le fait est devenu pour moi si ordinaire que lorsque je note de l'électricité négative, soit par ciel serein, soit par ciel nuageux, j'en conclus qu'il pleut, neige ou grêle à distance.

M. André ayant communiqué ses observations à l'Institut de France, je crus devoir de mon côté exposer la question devant notre Académie des Sciences, dans la séance du 21 mai de cette année.

J'eus soin de faire hommage de ce travail au savant directeur de l'observatoire de Lyon [1].

Dans ce travail, je faisais remarquer, tout en rappelant mes lois, que bien que là où tombe la pluie on ait une forte électricité positive, il arrive pourtant parfois que, sous la pluie, on ait de l'électricité négative : ceci se produit lorsque cette pluie se trouve dans la zone qui tombe à une certaine distance. Il me paraît inutile par suite de répéter ce que l'on pourra lire dans ma récente publication indiquée plus haut [2].

Il reste maintenant à combattre une autre objection concernant cette croyance « que l'électricité atmosphérique croît avec les hauteurs. »

Si l'électricité que nous observons n'est pas *communiquée* mais est *induite* sur nos appareils par une couche d'air placée au dessus du lieu d'observation, il est naturel d'admettre que dans de certaines limites, en s'élevant davantage on arrivera jusqu'à l'électricité inductrice et que l'on devra constater un accroissement. Néanmoins, dans une série d'observations simultanées faites à l'Université et en divers points de la ville de Naples, à l'aide d'un appareil portatif, il m'est arrivé sur le Môle Neuf, au milieu de la mer, aux premières heures de la matinée, d'avoir un potentiel plus élevé que celui qu'on obtenait à l'Université à 57 mètres d'altitude ; et

[1] *La Lumière Electrique*, t. XLV, p. 51 et 406.

[2] Sur l'électricité atmosphérique négative, par ciel serein (*Comptes rendus de l'Académie royale des Sciences physiques et mathématiques*, fasc. 5, mai 1892).

j'observai qu'un épais brouillard s'étendait sur les eaux jusqu'à une certaine hauteur. Mais en d'autres points, tous plus élevés que l'Université, on avait un potentiel plus fort.

L. PALMIERI.

(*A suivre*).

RECHERCHES RÉCENTES

SUR LA MESURE DES TEMPÉRATURES

PAR LES PROCÉDÉS ÉLECTRIQUES [1]

REMARQUE DE MM. GRIFFITHS ET CLARK.

Tout récemment et postérieurement à la rédaction de cet article, MM. Griffiths et Clark ont publié dans le *Philosophical Magazine* [2], une remarque importante relative à la mesure des basses températures. Elle confirme la légitimité de l'extension de la formule de M. Callendar à la détermination de ces températures, et elle conduit à un procédé simple et pratique pour la détermination des coefficients numériques de cette formule.

En représentant les résultats de leurs recherches par des courbes obtenues en portant en abscisses les températures comptées à partir du zéro absolu et en ordonnées les résistances correspondantes des divers métaux ou alliages, MM. Dewar et Fleming ont observé que les prolongements de ces courbes vers les basses températures coupent l'axe des abscisses en des points voisins de l'origine; en d'autres termes, il semble résulter de ces expériences que la résistance des métaux et alliages s'annule à la température du zéro absolu, conformément à une hypothèse faite, dès 1858, par Clausius, qui admettait que la résistance d'un corps métallique est proportionnelle à sa température exprimée suivant l'échelle thermodynamique.

Par suite de leurs travaux personnels et des travaux exécutés par l'un d'eux en collaboration avec M. Callendar, MM. Griffiths et Clark se trouvaient en possession des constantes de plusieurs thermomètres à résistance de platine; ils en ont profité pour rechercher si les échantillons de platine formant ces thermomètres satisfont à la remarque de MM. Dewar et Fleming.

Le tableau suivant donne les valeurs des constantes et les résultats obtenus. R_0 est la résistance du platine à la température de la glace fondante; R_1 la résistance à la température de la vapeur d'eau bouillant sous la pression normale; δ est le coefficient de la formule de réduction

$$t - T = \delta\, T\, (100\, T)\, 10^{-4} \qquad (1)$$

qui lie la valeur T de la température dans l'échelle normale à la valeur

$$t = 100\, \frac{R_T - R_0}{R_1 - R_0} \qquad (2)$$

de la même température exprimée avec l'échelle du thermomètre à résistance; ce coefficient δ était déterminé pour chaque thermomètre par une mesure de résistance effectuée au point d'ébullition du soufre, c'est-à-dire pour $T = 444°53$. L'avant-dernière colonne du tableau donne la valeur de t obtenue en faisant $R_T = 0$ dans la formule (2); la dernière donne la température T correspondante calculée par la formule (1)

Thermomètre	Référence	R_0	$\frac{R_1}{R_0}$	δ	t	T
De Callendar	*Phil. Trans.*, 1887, sect. 2 et 3.	5,0845	1,3460	1,46	— 289,04	— 274,12
N_{A+B}.....	*Phil. Trans.*, 1891, pages 151 -- 152.	8,8558	1,3484	1,638	— 287,03	— 270,60
N_A	» »	5,9865	1,3482	1,648	— 287,19	— 269,60
N_B	» »	3,8749	1,3480	1,639	— 287,34	— 270,86
M_1.....	*Phil. Trans.*, 1891, pages 132 — 136.	4,2267	1,3381	1,57	— 295,81	— 279,15
M	» »	4,1732	1,3383	1,57	— 295,58	— 278,97
H.....	*Phil. Trans.*, 1891, page 153.	13,5216	1,3463	1,474	— 288,77	— 273,71
					Moyenne.....	— 273,86

(1) *La Lumière Électrique* du 7 janvier 1893, p. 21. — (2) T. XXXIV, p. 515, décembre 1892.

On voit que, bien que les constantes soient très différentes, les valeurs obtenues pour T sont assez voisines, et que la moyenne de ces valeurs diffère peu du nombre — 273°,7 trouvé par Joule et Thomson pour le point de départ de l'échelle thermodynamique.

La conclusion qui découle immédiatement de ce résultat est que la relation (1) est applicable à n'importe quel échantillon de platine pur pour un intervalle de température allant depuis 600° environ jusqu'aux plus basses températures que nous sachions produire. Or, cette formule est l'équation d'une parabole. Trois points seulement étant nécessaires pour la détermination complète d'une telle courbe, trois mesures doivent suffire pour trouver l'expression de la résistance du platine en fonction de T, ou inversement, pour trouver T en fonction de cette résistance. Deux de ces mesures peuvent facilement être faites aux températures 0° et 100°; la troisième doit nécessairement être faite à une température assez éloignée de ces dernières pour avoir une meilleure approximation; la température d'ébullition du soufre (444°,5) convient particulièrement.

Lorsqu'on ne désire pas un très haut degré de précision, on peut même se dispenser de cette dernière mesure qui présente quelques difficultés quand on ne dispose pas d'un appareil convenable. En effet, R_0 et R_1 étant déterminés par expérience, on peut en déduire, d'après la formule (2), la température

$$t = 100 \frac{-R_0}{R_1 - R_0} \qquad (3)$$

à laquelle s'annule la résistance du platine. Cette température correspondant, d'après ce qui précède, à — 273°,7 de l'échelle normale, le coefficient δ de la formule (1) peut être calculé en remplaçant dans cette formule, T par — 273°,7 et t par la valeur (3).

MM. Griffiths et Clark ont voulu se rendre compte du degré de précision que comporte ce dernier mode de graduation des thermomètres à résistance de platine. Dans ce but, ils ont calculé les températures qu'indiqueraient dans ces conditions les différents thermomètres du tableau précédent pour les températures vraies de 50° et 150°. Nous donnons ci-dessous, avec leurs signes, les différences entre la température vraie et la température calculée :

Température vraie	Callendar	N_{A+B}	N_A	N_B	H	M_1	M_2
50°	— 0,1	+0,08	+0,08	+0,08	0	—0,14	—0,14
150°	+0,03	—0,25	—0,25	—0,23	0	+0,44	+0,43

On voit que les différences sont assez faibles et que les thermomètres à résistance de platine conviennent parfaitement à la mesure des basses températures où une erreur de 0°,5 est insignifiante. D'ailleurs, dans ce cas, le thermomètre à gaz ne donnerait certainement pas une plus grande précision par suite des erreurs provenant du calibrage, de la variation temporaire et permanente du zéro, de la viscosité du gaz, etc.

EXPÉRIENCES DE MM. CHASSAGNY ET ABRAHAM

Lorsqu'il s'agit d'évaluer une petite variation de température, les couples électriques possèdent sur le thermomètre à mercure l'avantage de déceler presque instantanément cette variation. Cet avantage résulte de deux causes; en premier lieu une soudure prend immédiatement la température du milieu où elle est plongée, tandis que la température d'un réservoir de thermomètre à mercure, dont la masse est nécessairement considérable quand on veut évaluer une très petite fraction de degré, ne peut s'équilibrer immédiatement avec celle du milieu ambiant; en second lieu la variation de force électromotrice du couple est immédiatement accusée par un galvanomètre tandis que la variation de volume du mercure ne peut se manifester que lentement, à cause du retard que la capillarité du tube impose au déplacement du mercure.

Mais cet avantage des couples est largement compensé par le peu de constance qu'ils offrent; aussi n'ont-ils guère été employés que dans certains cas où l'emploi d'un thermomètre à mercure était réellement impossible, et encore seulement pour la mesure des très petites variations de température, où une erreur relative très forte résultant d'une variation du couple n'a souvent qu'une importance secondaire. MM. Chassagny et Abraham ont montré qu'en prenant de minutieuses précautions les couples thermo-électriques peuvent servir à mesurer un intervalle de température quelconque compris entre 0 et 100° à 1/100 de degré près, c'est-à-dire avec une approxi-

mation presque aussi grande qu'avec les meilleurs thermomètres à mercure.

Les couples étudiés par ces physiciens sont des couples fer-cuivre, formés d'un fil de cuivre de 0,05 cm. de diamètre et d'un fil de fer de 0,03 cm. Ces fils sont soudés à l'étain et les soudures sont engagées dans des masses de cuivre rouge de 1 centimètre de longueur sur 0,5 cm. de diamètre. Une triple couche de soie et une couche de gomme laque assurent un bon isolement des fils. De plus, au voisinage des soudures, les fils passent dans des tubes de verre concentriques à l'extrémité desquels de petits tubes en caoutchouc ou des montures à vis fixent les masses de cuivre en formant fermeture hermétique ; de cette manière, on évite les dérivations et les actions chimiques pouvant résulter du contact du bain avec les soudures. Enfin, l'étuve à vapeur d'eau bouillante et l'enceinte à glace râpée dans lesquelles sont respectivement placées les soudures sont toutes deux isolées avec soin.

Pour avoir la force électromotrice du couple, cette force électromotrice est mise en opposition avec une différence de potentiel connue, obtenue en prenant une dérivation sur le circuit d'un élément Gouy à large surface maintenu à température constante et fermé sur un circuit de 10 000 ohms. Un galvanomètre Thomson, sensible au 1/20 000 000e de volt, permet de reconnaître quand la compensation est rigoureusement atteinte. Avant et après chaque expérience, l'élément Gouy, toujours fermé sur 10 000 ohms, était comparé par la méthode d'opposition et à l'aide d'un électromètre capillaire à quatre éléments Latimer Clark ; il a été trouvé constant pendant toute la durée des mesures. Les boîtes de résistance, soigneusement étalonnées, étaient protégées par une enceinte feutrée contre les causes extérieures de variation de température. Enfin, les contacts auxiliaires étaient maintenus par paires à la même température, afin d'éviter la production de forces électromotrices thermo-électriques parasites.

Les expériences effectuées à des époques différentes sur des couples construits deux jours, huit jours et deux mois auparavant, et dont les soudures étaient maintenues, l'une à 0°, l'autre à 100°, ont donné pour la force électromotrice des nombres égaux à 0,001 0932 volt ou 0,001 0933 volt. La différence de ces nombres n'étant que le 1/10 000 environ de leur valeur, on peut considérer les couples thermo-électriques étudiés comme comparables entre eux et invariables avec le temps.

Restait à chercher la sensibilité de ces couples comme appareils de mesure des températures. Des nombres précédents il résulte qu'ils permettent d'apprécier le centième de degré pour un intervalle d'environ 100°. Pour un intervalle moins grand, la force électromotrice est plus petite, et si la précision absolue de la mesure de cette quantité restait la même, la précision relative diminuerait. Mais en diminuant la résistance du circuit du galvanomètre Thomson, il est facile d'augmenter la sensibilité absolue de cet instrument et, par suite, de conserver la même précision relative. On peut donc compter sur le centième de degré dans la mesure, avec les couples étudiés, d'un intervalle de température quelconque compris entre 0 et 100°.

MM. Chassagny et Abraham se sont ensuite occupés de relier l'échelle des températures du couple fer-cuivre à l'échelle des températures du thermomètre à hydrogène. Dans ce but, l'une des soudures étant maintenue dans la glace râpée, l'autre est plongée dans l'eau d'un vase placé dans une étuve à régulateur. Un thermomètre Tonnelot, en verre dur, comparé au thermomètre normal au Bureau international des poids et mesures, donne la température de cette eau. On a toujours remarqué que les variations de température de l'eau sont plus rapidement décelées par le couple que par le thermomètre.

La force électromotrice E_0^T est mesurée comme dans les expériences précédentes. Une formule parabolique à deux termes est tout à fait insuffisante pour relier cette force électromotrice à la température. La formule suivante, quoique ne représentant pas encore les mesures avec toute leur précision, peut suffire à donner le 1/50 de degré dans toute l'étendue de l'intervalle 0°-100°,

$$E_0^T = \frac{a\,T + b\,T^2 + c\,T^3}{T + 273}$$

où

$a = 3{,}56604 \times 10^{-5}$ $b = 8{,}3827.10^{-6}$ $c = -3{,}2656.10^{-8}$

(1) *Comptes rendus*, t. CXI, p. 477, 602, 731 (1890) ; t. CXII, p. 1198 (1891). Deux de ces communications ont été reproduites par *la Lumière Electrique*, t. XXXVIII, p. 143 et p. 284.

Dans le but de s'assurer de la précision de leurs mesures, MM. Chassagny et Abraham ont mesuré les forces électromotrices entre 0° et 100° des couples fer-platine rhodié, platine rhodié-cuivre, platine rhodié-platine, fer-argent, etc., et ont cherché si la relation

$$E(AC) = E(AB) + E(BC),$$

qui exprime la loi des métaux intermédiaires, se trouve vérifiée par les couples étudiés. Ils ont constaté que la vérification était excellente, les valeurs calculées par cette formule ne différant des valeurs observées que de 1/10 000 000 de volt au maximum.

La principale conséquence de ce travail est que les couples thermo-électriques peuvent dans beaucoup de cas remplacer le thermomètre à mercure sans que la précision des mesures soit diminuée. Mais deux autres conclusions non moins importantes en découlent également.

La première est que la permanence de certains couples thermo-électriques permettrait d'en faire des étalons de force électromotrice.

La seconde est que la formule parabolique proposée par Avenarius et Tait pour représenter la force électromotrice des couples ne s'applique pas aux nombreux couples étudiés par MM. Chassagny et Abraham.

J. Blondin.

(A suivre).

CHRONIQUE ET REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

Système de traction électrique Wynne [1].

Dans le système de M. Wynne un rail de contact est placé au milieu de la voie, à peu près de niveau avec le pavage. Ce rail est crénelé (fig. 1) de façon à s'adapter entre les blocs de granit, ce qui présente aussi l'avantage d'offrir un point d'appui pour les chevaux.

La caractéristique de ce système est le sectionnement du rail de contact; seules les sections occupées par la voiture sont en relation avec le conducteur souterrain. Les sections ont 1,50 m. de longueur et cinq d'entre elles se trouvent simultanément couvertes par la voiture. Elles sont couchées dans un béton mélangé d'asphalte et tous les interstices sont remplis de bitume qui assure une isolation suffisante entre les sections et par rapport à la terre.

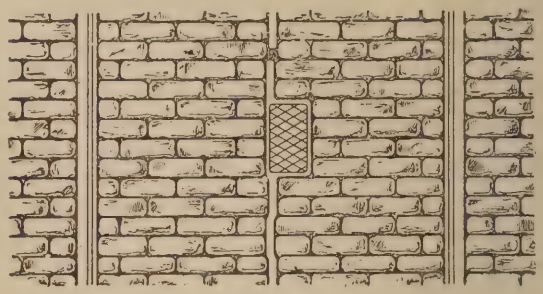


Fig. 1

M. Wynne a récemment modifié les détails de son système; en plaçant les boîtes de contact entre les sections, il a pu réduire le nombre de commutateurs magnétiques. Les boîtes de contact sont installées par intervalles de 3 mètres. Les couvercles de ces boîtes sont disposés sur

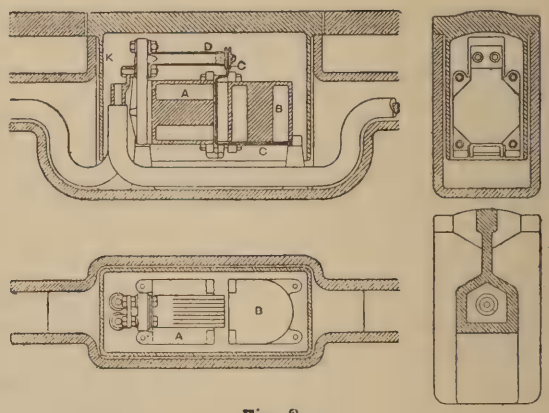


Fig. 2

le principe de la cloche de plongeur, l'air enfermé empêchant l'eau de monter à l'intérieur de la boîte. Les connexions sont facilement accessibles, et les contacts peuvent être remplacés rapidement. La figure 1 montre une portion de la voie avec le conducteur crénelé et une boîte de contact.

La figure 2 représente en section et en plan une de ces boîtes de contact avec une section du rail de milieu et le conducteur d'alimentation

[1] *The Electrician*, 2 décembre 1892.

enfoui sous terre. Ce conducteur arrive dans la boîte par dessous et aboutit à une double griffe métallique à laquelle il est soudé. La boîte contient une paire de ressorts de contact; le ressort inférieur est relié à la griffe de contact. Deux aimants tubulaires A et B sont disposés l'un verticalement, l'autre horizontalement. Les enroulements de ces aimants ne sont pas représentés dans la figure 2. Deux fils isolés sont reliés au ressort de contact supérieur. L'un de ces fils va à un aimant et de là à la boîte en fonte, reliant ainsi le ressort à une section du rail de contact. Le second fil est relié à l'autre aimant, accompagne ensuite le conducteur principal sur une petite longueur jusqu'à la prochaine section du rail. Une armature double C C porte un coin de contact en cuivre qui est forcé

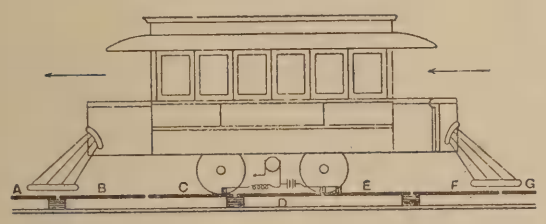


Fig. 3

entre les deux ressorts lorsque l'un des aimants ou les deux à la fois sont excités.

La figure 3 donne le schéma du système. On y voit sept sections de rail A, B, C, etc. Les sections A et B ne sont pas encore reliées au conducteur d'alimentation; C et D au contraire sont reliées; E et F sont sur le point d'être mises hors circuit. Le contact entre le conducteur et la section F est maintenu par l'aimant en série avec la section E.

On voit sur la figure un balai de front et deux balais de queue, ces deux derniers pour assurer la communication entre deux sections, afin que le contact avec l'une des sections soit bien établi avant que celui de la section précédente ne soit ouvert. Le courant passe de ces balais dans le moteur et retourne à la terre par les roues et les rails. En cas de rupture du circuit, les aimants non excités abandonneraient leur armature. Pour permettre de reprendre contact, chaque voiture emporte deux ou trois accumulateurs disposés avec une résistance de un tiers d'ohm, de façon à pouvoir à tout moment servir à l'excitation des aimants.

Ce système a été expérimenté sur une ligne d'essai de l'Electric Construction Corporation, à Wolverhampton, et aurait donné des résultats satisfaisants. Le système présente, en effet, beaucoup d'avantages sur les méthodes actuellement employées.

A. H.

Détails de construction de la nouvelle ligne téléphonique New-York-Chicago, par M. J. Wetzler (1).

Il n'y a pas bien longtemps le public était encore persuadé que la téléphonie resterait un système de communication rapide à l'intérieur

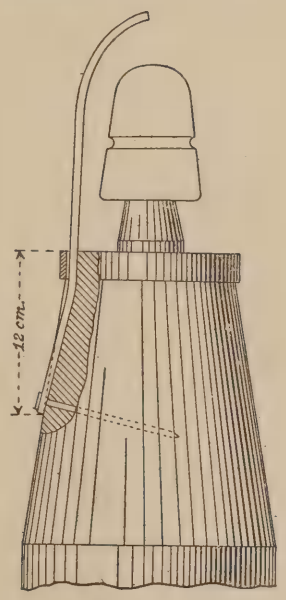


Fig. 1. — Isolateur de la ligne New-York-Chicago.

des villes, mais ne saurait jamais faire concurrence à la télégraphie pour la transmission à longue distance. Toutefois, les hommes du métier savaient que les difficultés que présenteraient les longues lignes téléphoniques ne seraient pas insurmontables, et leurs premiers essais dans la téléphonie interurbaine furent très encourageants. En 1885, la Company American Telegraph and Telephone, maintenant connue sous le nom de Long Distance Company, construisit une ligne téléphonique entre New-York et Philadelphie; le succès de cette entreprise fut si considérable que la même

(1) *Electrical Engineer* de New-York, 14 décembre 1892.

compagnie établit immédiatement d'autres lignes interurbaines.

Jusque dans ces derniers temps la plus longue distance de transmission téléphonique en fonctionnement régulier ne dépassait guère 800 kilomètres. L'établissement d'une communication téléphonique directe entre New-York et Chicago, deux villes séparées par une distance de près de 1600 kilomètres, constitue donc un progrès notable. L'expérience acquise antérement par la compagnie américaine semblait indiquer la possibilité de transmettre la parole à une distance aussi considérable, sans tenir compte des règles généralement adoptées pour le calcul de la grosseur du fil à employer. La règle qui a servi jusqu'ici de guide aux téléphonistes était celle de M. W. Preece, formulée ainsi :

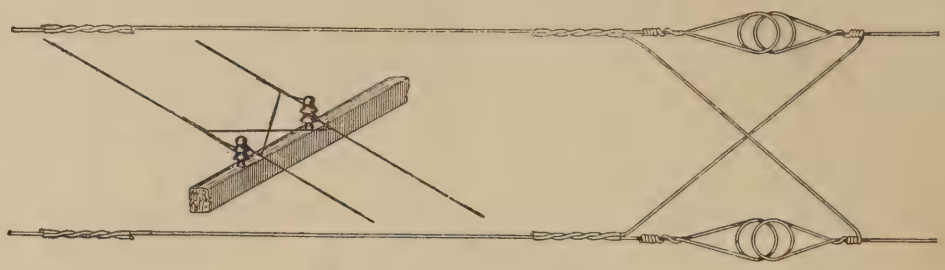


Fig. 2. — Croisement des lignes.

La transmission de la parole est

Impossible lorsque le produit C R			= 15 000
Possible	—	—	= 12 500
Bonne	—	—	= 10 000
Très bonne	—	—	= 7 500
Excellente	—	—	= 5 000
Parfaite	—	—	= 2 500

Cette règle empirique n'est pas applicable d'une façon générale. C'est ainsi qu'en construisant la ligne Paris-Londres on avait adopté la constante C R = 7500; or, la ligne terminée, on s'aperçut que la transmission était bien meilleure que ne l'indiquait la formule.

Les ingénieurs de la Long Distance Company avaient fait à ce sujet diverses expériences, en réunissant plusieurs lignes formant un total de 1000 à 1750 kilomètres. Ils obtinrent les résultats montrant que la transmission était :

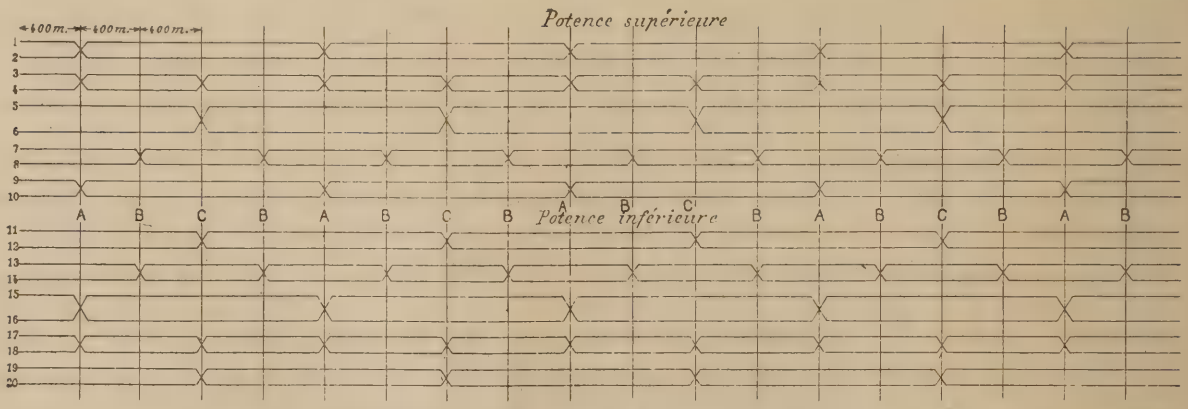


Fig 3. — Disposition générale des dix lignes téléphoniques.

Excellente, à	1 000	kilomètres	avec C R	= 31 000
Bonne,	1 200	—	—	= 45 000
Médiocre,	1 420	—	—	= 62 000
Impossible,	1 750	—	—	= 91 000

Ces expériences ont été effectuées avec le transmetteur récemment décrit [1], et avec trois éléments de pile.

D'après la formule énoncée par M. Preece, il faudrait un fil de 550 kilog. par kilomètre pour communiquer de New-York à Chicago.

[1] *La Lumière Électrique* du 17 décembre 1892, p. 554.

La compagnie hésita à appliquer cette règle, et se fiant à sa propre expérience, elle choisit un fil de 4 millimètres de diamètre, pesant 122 kilog. par kilomètre. Ce fil présente une résistance de 1,28 ohm et une capacité de 0,0098 microfarad par kilomètre.

1 600 kilomètres représentant la distance entre New-York et Chicago, la constante était donc C R = 32 000. On sait que la ligne effectue aujourd'hui un service régulier et que la transmission est très bonne. Voici d'ailleurs les constantes de trois autres lignes fonctionnant depuis longtemps et d'une façon très satisfaisante.

Boston-Washington.	C R = 26 250
Boston-New-York.	C R = 12 100
New-York-Philadelphie	C R = 2 000

On voit que si la règle de M. Preece est bonne pour les faibles distances, elle n'est pas applicable aux très grandes distances. Rappelons que M. Preece obtient le produit C R en multipliant la résistance totale de la ligne par la capacité d'un des fils par rapport à l'autre et en admettant que cette capacité est la moitié de celle prise par rapport à la terre. Les ingénieurs américains ont multiplié la résistance d'un des fils par sa capacité relativement à la terre; et il est à noter que la capacité réciproque des deux fils n'est jamais exactement la moitié de la capacité relative à la terre, mais le plus souvent de 60 à 65 o/o de cette quantité.

Les détails de construction de la ligne de New-York à Chicago ont fait l'objet d'études très soigneuses. La ligne est posée sur des poteaux de cèdre de 10 mètres de longueur, de sorte que le fil a pu être placé à 8 mètres au-dessus du sol.

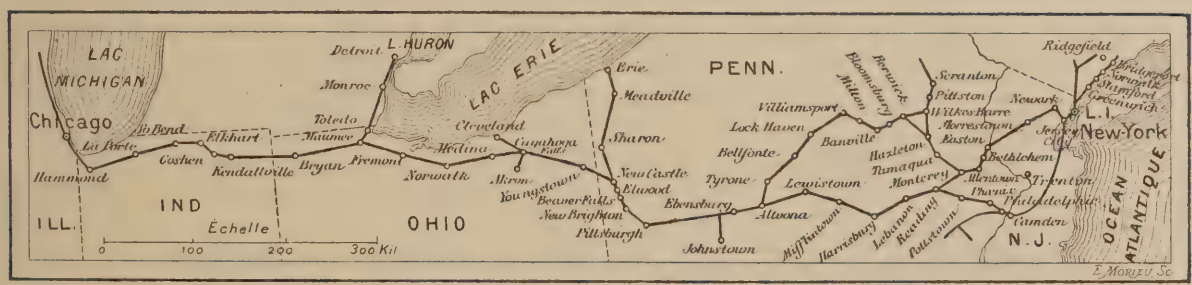


Fig. 4. — Parcours de la ligne téléphonique New-York-Chicago.

Les entretoises et les potences en pin de Norvège ont trois mètres de longueur; elles sont couvertes de deux fortes couches de peinture, et sont consolidées avec de solides bandes de fer galvanisé. Ces potences sont fixées aux poteaux par des boulons en fer galvanisé.

L'isolateur employé est le modèle en verre blanc de l'American Telegraph and Telephone Company. Les isolateurs fixés aux extrémités des poteaux de courbes sont munis d'un crochet de garde comme le montre la figure 1.

Chaque dixième poteau est muni d'un paratonnerre, constitué par des fils de fer galvanisés de 5 millimètres de diamètre.

Pour éviter les effets de l'induction, les fils de la ligne sont croisés à des intervalles réguliers, et l'on se sert à cet effet d'isolateurs de croisement à double gorge. La figure 2 indique la méthode employée pour effectuer ces croisements. Les boucles superposées sont naturellement isolées l'une de l'autre et fixées dans les deux gorges d'un même isolateur.

Les deux potences fixées sur les poteaux peuvent porter chacun dix fils, et la disposition de ces dix paires de fils est indiquée dans le schéma figure 3.

La carte figure 4 montre la route suivie par la ligne, et l'on voit qu'elle est reliée par des embranchements et des boucles aux principales villes situées entre New-York et Chicago.

Sur les variations des tensions dans le système à courants triphasés, par H. Goerges (1).

On a souvent prétendu que les différences de charge dans les diverses branches d'un système à courants triphasés rendaient la régulation très difficile. Or, des expériences faites au laboratoire de la maison Siemens et Halske ont montré que les cas où il se produit de grandes différences de tension sont assez rares et peuvent être évités très facilement. Des expériences plus récentes ont permis de vérifier ce résultat.

(1) *Elektrotechnische Rundschau*, décembre 1892.

On sait que le système à courants triphasés peut être réalisé avec différents modes de groupement des circuits. Lorsque les trois branches sont reliées directement par une de leurs extrémités, tandis que les trois autres extrémités communiquent avec les trois conducteurs d'amenée, on a le montage ouvert ou en étoile. Si l'on relie, au contraire, les trois circuits bout à bout, et les trois points de jonction respectivement avec les trois conducteurs d'amenée, on obtient le montage fermé ou en triangle. Nous ne nous occuperons pas ici d'un autre mode de couplage, plus compliqué, et qui n'est qu'une combinaison des deux précédents.

Comme on peut coupler la machine, les enroulements primaire et secondaire du transformateur, et les lampes d'après l'une quelconque de ces machines, on peut obtenir 2^4 ou 16 combinaisons qu'il s'agit d'examiner. Parmi ces combinaisons quelques-unes occasionnent pour des charges inégales des tensions très différentes dans les trois branches, les différences pouvant aller jusqu'à 50 o/o. Mais la plupart des couplages donnent des résultats plus satisfaisants, et l'on peut réduire les différences au point qu'elles ne présentent plus aucun inconvénient dans la pratique.

Quelle que soit la combinaison choisie, les différences entre les tensions sont maxima lorsque l'une des branches est à charge pleine, tandis que les deux autres ne transportent pas de courant, ou encore lorsque deux branches sont chargées et la troisième à vide. Dans ces divers cas, on n'a trouvé expérimentalement qu'une différence maxima de 6 o/o, en choisissant le mode de couplage le plus favorable.

Avec des différences de charges moindres, les différences de tension sont naturellement aussi plus faibles. En admettant, par exemple, que la différence de charge relative est de 30 o/o, valeur qui peut être considérée comme un maximum dans une installation bien établie, on trouve que la différence de tension n'est que de $0,3 \times 6$ soit 2 o/o, ou une déviation de 1 o/o de la valeur moyenne.

Les différences indiquées ci-dessus ont été observées avec une machine et un transformateus de 50 000 watts ; elles représentent les sommes des différences que produisent des inégalités de charge sur la machine et le transformateur.

On a établi que ces différences de tension s'ajoutent. Si l'on fait débiter la machine directement sur les lampes, cas peu fréquent dans la pratique, l'inégalité se réduit, dans le cas le plus défavorable, à 3 o/o. Mais on rencontre souvent le cas où les transformateurs isolés, dont les enroulements secondaires ne sont pas couplés en parallèle, travaillent avec des charges très inégales dans les différentes branches, tandis que sur le réseau à haute tension les inégalités de charge se compensent et égalisent les tensions. Dans ce cas la dissymétrie ne se manifeste que dans les transformateurs, non dans la machine, et les différences de tension ne dépassent donc pas 3 o/o. Ces chiffres doivent être encore plus favorables lorsque, comme il arrive d'ordinaire, les enroulements secondaires des transformateurs débitent sur un réseau commun.

Outre le mode de couplage, divers autres points ont une influence sur la grandeur des différences de tension. En première ligne vient le mode de construction de la machine à courants triphasés et l'intensité de son excitation, enfin la chute de potentiel dans le transformateur. Avec une excitation faible et une forte réaction d'induit, les différences dans les tensions sont aussi plus grandes. Il convient donc de remarquer que les chiffres indiqués se rapportent à une excitation normale de la machine et à une chute de potentiel maxima de 2,5 o/o dans le transformateur.

D'autres expériences ont été effectuées pour essayer de régler les tensions soit à la station, soit aux transformateurs. La tension de la machine fut augmentée au moyen d'un premier transformateur et réduite de nouveau par un second transformateur. Ce réglage effectué en intercalant des rhéostats fut parfait avec une branche chargée, les deux autres vides, et satisfaisant avec deux branches chargées et la troisième sans charge.

J'ai donc acquis la conviction que la répartition des lampes dans les trois circuits ne présente pratiquement aucun inconvénient, surtout parce qu'elle n'a aucune influence sur l'étendue de l'installation. Plus il y a de moteurs en fonctionnement simultané, et plus la charge et, par suite, les tensions des trois branches sont uniformes. De plus, la mise en circuit des moteurs n'a pas plus d'influence sur la tension que s'il

s'agissait de moteurs à courant continu avec résistance de démarrage A. H.

Pile sèche au chlorure d'argent Hard (1891).

Cette pile se compose essentiellement d'un cylindre de chlorure d'argent *f*, plongé dans un excitant gélatineux *g*, dont l'auteur n'indique pas la composition, et qui est renfermé lui-même dans un cylindre en zinc *c*, protégé par une auge en poterie *a*. Ce zinc constitue le pôle po-

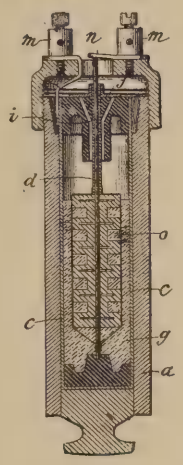


Fig. 1

sitif relié à la borne *m'*, et le chlorure relié à la borne *m* par le ressort *n* et la tige d'argent *d*, à plateaux *d'*, constitue le pôle négatif. Les gaz s'échappent en *i* par une soupape *j*, qui empêche l'entrée de l'air. Le cylindre de chlorure *g* a ses cannelures circulaires ou gorges remplies d'un absorbant *o*, qui multiplie l'étendue de ses contacts avec l'excitant *d*.

G. R.

Voltmètre Weston (1892).

Le champ magnétique de ce voltmètre est constitué par les pôles A et B des électros C et D et ceux de la masse de fer doux J, montée, entre les pôles A et B, sur leurs plaques de bronze G. Dans le champ annulaire ainsi formé, se meut la bobine R, dont l'axe L porte l'aiguille indicatrice S, et tourne sur le pivot M de N, malgré le ressort spiral Q, réglable par le bras tendeur P. La même disposition (Q N P) se retrouve à chaque bout de l'axe L.

Le courant à mesurer, admis en O Q, traverse successivement la bobine à fils fins R, puis va du ressort opposé à l'enroulement C, d'où il va traverser l'enroulement K de J, puis l'électro D.

La principale particularité de cet appareil est que les électros C D et K sont magnétisés à saturation par un courant de potentiel normal suf-

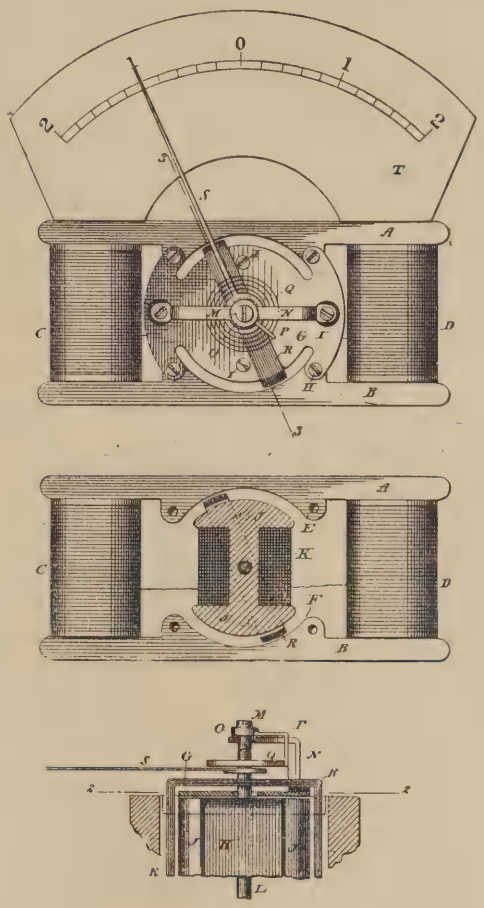


Fig. 1 à 3.

fisant pour maintenir l'aiguille au zéro, de sorte que leur champ varie très peu avec les changements du potentiel, et qu'il agit sur la bobine R sensiblement comme celui d'un aimant permanent. Une fois l'appareil réglé, les indications de l'aiguille restent concordantes dans les limites prévues par le réglage. G. R.

Sonneries et annonciateurs Mix et Genest.

Les appareils employés dans la télégraphie domestique sont aujourd'hui réclamés à un si

bas prix par le public que la construction en est presque toujours très négligée. Il n'est plus possible de suffire aux exigences des acheteurs sans recourir à la fabrication en grand.

La maison Mix et Genest construit des appareils domestiques tels que sonneries, indicateurs, etc., d'après le système américain de la fabrication en masse avec division extrême du travail. De cette façon seulement il est possible d'obtenir de bons appareils à prix peu élevé.

Nous présenterons quelques modèles d'appareils fabriqués par cette maison. La figure 1 représente une sonnerie dont la construction est

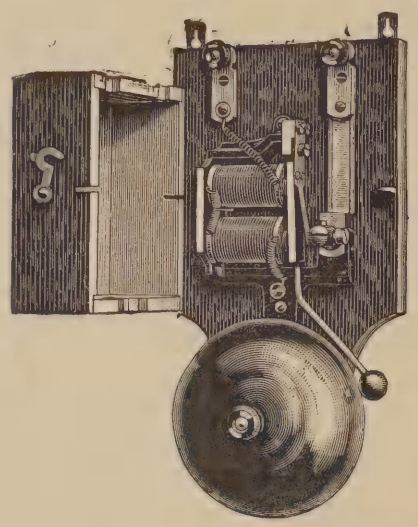


Fig. 1. — Sonnerie Mix et Genest.

telle que les diverses parties conservent toujours les positions relatives nécessaires à un bon fonctionnement. L'électro, le timbre et les parties mobiles sont tous fixés sur une carcasse en fonte vissée sur la planchette. L'armature et le marteau sont formés d'une seule pièce de fer, tandis que dans les sonneries ordinaires cet organe est toujours composé de deux pièces au moins. Le contact de platine, au lieu d'être soudé au ressort interrupteur, est rivé. L'écrou de la vis de contact est fendu et peut être serré par une seconde vis. On obtient de cette façon un réglage indérangeable. Les connexions se trouvent toutes sur la face de la planchette, ce qui assure leur protection contre l'humidité. Une des communications est assurée par une bande de métal, comme on le voit sur la figure.

La figure 2 représente une sonnerie dont la boîte est en fer. Elle est surtout destinée aux endroits humides, où les sonneries à support de bois sont vite mises hors de service. La boîte en fonte est rendue étanche par une corde enduite de suif qui se trouve pressée entre le bord du couvercle et un rebord à rainure faisant saillie sur la plaque. Les bornes sont fixées à la partie inférieure de la boîte. Ce modèle de sonnerie se recommande pour le service des chemins de fer ; on le construit de toutes les grandeurs entre 12 et 24 centimètres de diamètre de cloche.

La figure 3 représente un tableau indicateur avec deux rangées de 4 annonciateurs. Les an-

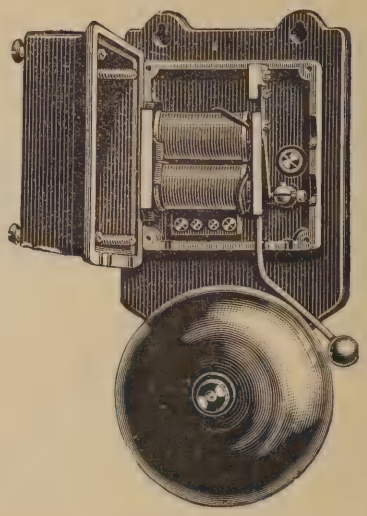


Fig. 2. — Sonnerie en fer.

nonciateurs sont d'une disposition très simple et très bien comprise.

Comme on le voit par la figure 4, le volet de l'annonciatenr est suspendu, de sorte qu'après avoir été attiré par l'électro-aimant, il revient automatiquement à sa position de repos, ce qui constitue un avantage, car les annonciateurs dont les volets tombent ne se retrouvent prêts à fonctionner que lorsqu'on a pris soin de relever le volet à la main, ce que l'on oublie très souvent.

L'électro-aimant, dont le pôle est taillé en biseau, est rivé dans un fort cadre en fer supportant le volet également en fer. Lorsqu'on ferme le circuit, le volet est attiré par l'électro ; dès que le courant cesse, il retombe de nouveau et se trouve animé d'un mouvement pendulaire dans lequel il entraîne un carré de carton de

couleur. Ces oscillations peuvent durer une minute; elles permettent donc de distinguer facilement le numéro appelant.

Les systèmes à déclenchement ne fonctionnent qu'avec un courant d'une certaine intensité, tandis que cet annonciateur oscille sous l'in-

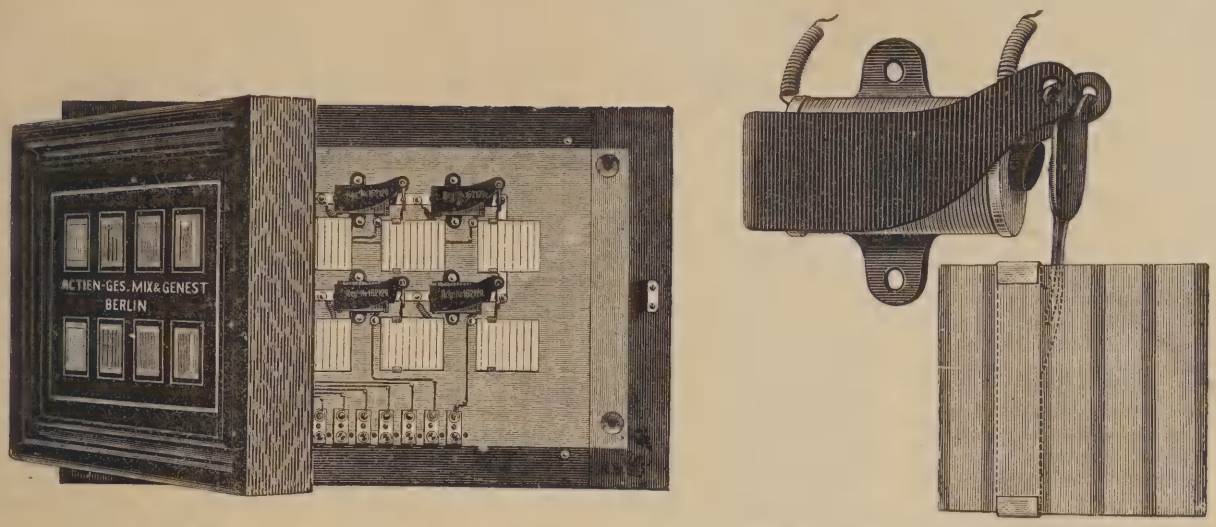


Fig. 3 et 4. — Tableau indicateur et anonciateur Mix et Genest.

fluence du courant le plus faible. Il ne présente par conséquent pas le désagrément de refuser e service dès que la pile s'affaiblit. E. Z.

REVUE DES TRAVAUX
RÉCENTS EN ÉLECTRICITÉ

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du 4 janvier 1893.

SUR LE COUPLAGE DES ALTERNATEURS [1]

PAR M. BLONDEL

Définition et limites des régimes stables.

Les épures polaires de puissances permettent d'abord de résoudre la question suivante : Quels sont les régimes stables, c'est-à-dire entre quelles limites peut varier le décalage θ en régime permanent sans qu'il y ait perte de synchronisme?

Tout équilibre est stable, comme on le sait, lorsque le système, écarté de sa position initiale, tend de lui-même à y revenir. La même définition s'applique à la marche synchronique, qu'on peut considérer comme un véritable état d'équilibre : la marche de chaque alternateur n'est stable que si toute accélération produit une variation dP de la puissance électrique, dirigée en sens convenable pour corriger l'écart produit.

Si P représente toujours la puissance *fournie* au circuit par l'alternateur sous forme d'énergie électrique, dP doit donc être positif ou négatif suivant qu'il y a accroissement ou diminution de vitesse. Or, toute accélération de l'alternateur A_1, à partir duquel le décalage est compté, équivaut à une augmentation de ce décalage, tandis qu'une avance de l'alternateur A_2 équivaut à une diminution de θ. On peut poser par conséquent comme condition de la stabilité pour chacun respectivement

$$\frac{dP_1}{d\theta} > 0, \qquad \text{et} \qquad \frac{dP_2}{d\theta} < 0.$$

Si donc l'on représente schématiquement les épures polaires de puissances P_1 et P_2 (fig. 11, n° 1) sous la forme la plus simple, c'est-à-dire en supposant les segments proportionnels aux puissances, comptés tous à partir de l'origine O, la région stable, marquée d'un trait fort, sera :

1° Pour l'alternateur A_1, celle qui va d'un minimum M_1 au maximum suivant N_1, dans le sens des θ croissants;

[1] *La Lumière Électrique* du 7 janvier 1893.

2° Pour l'alternateur A_2, celle qui va d'un minimum M_2 au maximum suivant N_2, dans le sens des θ décroissants.

Si les deux alternateurs sont solidaires, $O A_2$

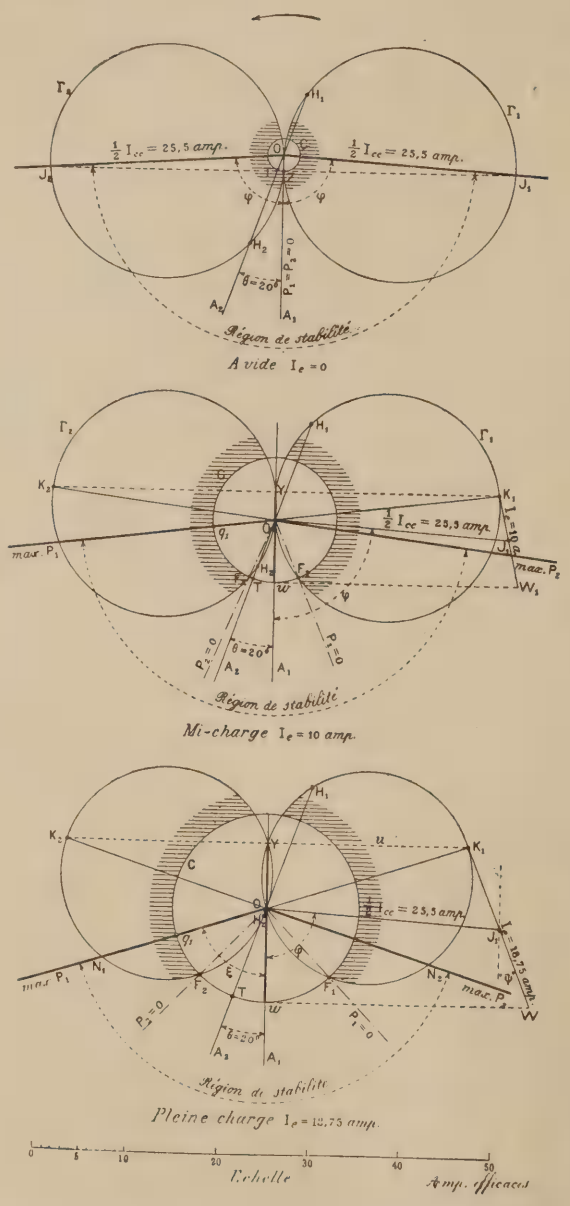


Fig. 10. — Couplage en parallèle de deux alternateurs Mordey de 37,5 kilow. Diagrammes des puissances à vide, à mi-charge et à pleine charge.

devra rester dans la région de la stabilité commune à tous deux. Dans le couplage en série, le diagramme polaire (fig. 6) rentre dans le type n° III (fig. 11); la région stable est donc l'angle $M_2 O M_1$, compris entre les deux minima, ce qui explique bien pourquoi les deux forces électromotrices se mettent en opposition, comme l'a montré pour la première fois le Dr Hopkinson.

La même propriété subsiste pour le couplage en parallèle, puisque celui-ci n'est qu'une extension du couplage en série. L'angle de stabilité sera donc encore $M_1 O M_2$ tant que cet angle sera $< \pi$; quand il devient $> \pi$ il faut le remplacer par son supplémentaire $N_1 O N_2$ (fig. 10).

Si l'on voulait coupler deux *génératrices* en tension, la région de stabilité devrait être celle où leurs phases peuvent coïncider, c'est-à-dire

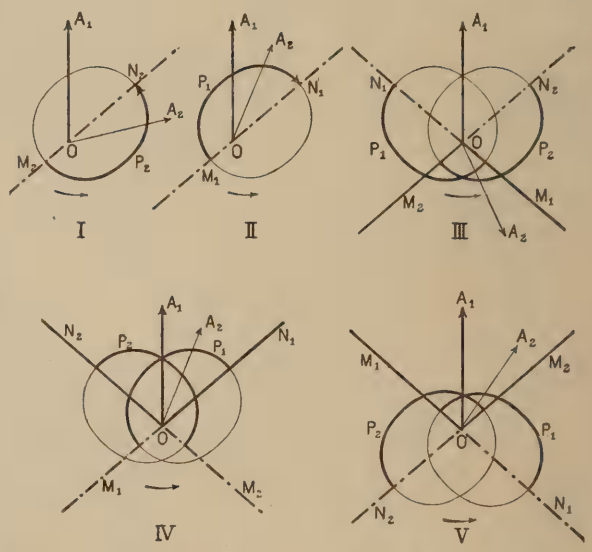


Fig. 11 — Limites de stabilité en régime permanent d'un système de deux alternateurs en fonction des puissances P_1 et P_2.

qu'elle devrait comprendre le vecteur fixe $O A_1$. Cette condition, qui est suffisante, ne peut être remplie qu'en réalisant pour les puissances l'une des dispositions représentées par les diagrammes des types IV ou V. M. Boucherot avait indiqué autrefois deux solutions intéressantes correspondant au n° IV, celles du condensateur en série et du condensateur en dérivation. Ces solutions pouvaient soulever quelques objections au point de vue théorique. Il n'en est pas de même de deux nouveaux procédés fort ingénieux qui viennent d'être indiqués tout récemment par le même auteur et qui répondent au type V : ceux-ci constituent une solution très élégante du problème.

M. Blondel étudie ensuite les régimes oscillatoires et le nouvel amortisseur Leblanc et Hutin dont il donne rapidement la théorie. Puis il analyse les principales propriétés des moteurs synchrones et les conditions de fonctionnement des alternateurs couplés en parallèle. Nous reproduisons ici la conclusion de ces deux chapitres et de la communication elle-même.

I. *Utilisation des alternateurs comme réceptrices.*

Le rendement des alternateurs fonctionnant en réceptrices est déjà satisfaisant et on pourrait encore l'améliorer aux faibles charges par l'emploi d'une excitation compoundée permettant de faire varier la force électromotrice.

Les principales causes d'infériorité des transports par courants alternatifs sont les sujétions du démarrage et de l'excitation et le manque d'élasticité à l'égard des surcharges.

Les deux premières deviennent négligeables quand il s'agit des petits moteurs n'ayant pas à démarrer sous charge, ou de transports de force fonctionnant sans interruption, comme à Telluride (Colorado) ; elles n'existent même plus quand la réceptrice doit actionner une machine à courants continus avec laquelle elle constitue un transformateur-moteur, solution ingénieuse appliquée avec tant de succès à l'éclairage de la ville de Cassel, par M. Oscar Von Miller.

Il y a donc plusieurs cas, le dernier particulièrement important, dans lesquels la seule objection qu'on puisse faire au transport par courants alternatifs simples est le manque d'élasticité de la réceptrice. Pour s'en affranchir, il suffirait de réaliser une puissance maxima plus grande, c'est-à-dire dans le cas où $E_1 = E_2$ de donner au rapport $\frac{m\,l}{r}$ une valeur plus voisine de $\sqrt{3}$.

Actuellement $\frac{m\,l}{r}$ est presque toujours > 10 et l'on ne peut guère songer à donner à E_2 une valeur décuple de E_1 ; mais le jour où l'on disposera de condensateurs ou de polarisateurs réellement industriels, rien ne sera plus facile que de donner à l'inductance une valeur apparente assez faible. On pourrait alors disposer pour les usages que je viens d'indiquer d'alternatomoteurs simples ayant autant d'élasticité que les moteurs à courants continus, et bien préférables pour les transports à haute tension.

Tout procédé tendant à faire disparaître les effets de la self-induction conduira au même résultat. Mais dans tous les cas, on ne devra pas annuler celle-ci complètement, sous peine de faire disparaître la stabilité au lieu de l'augmenter.

Dès maintenant, l'emploi des amortisseurs est susceptible d'accroître l'élasticité dans une très large mesure, en réduisant l'amplitude des oscillations.

Le moteur synchrone n'est donc pas encore définitivement condamné, et, bien qu'il soit moins séduisant que ses rivaux, il peut fournir une solution très acceptable dans les conditions auxquelles je viens de faire allusion.

II. *Couplage en parallèle.*

En supposant la synchronisation initiale réalisée, trois conditions doivent être remplies pour obtenir une bonne marche en parallèle :

1° Le synchronisme ne doit pas pouvoir être rompu ;

2° Les variations de voltage produites par les oscillations lentes ou brusques doivent rester au-dessous de la valeur admissible dans le réseau ;

3° Les intensités des courants dans les induits des alternateurs ne doivent jamais prendre une valeur assez élevée pour endommager les isolants.

Ces trois conditions sont également indispensables ; lorsque les deux dernières sont satisfaites, la première se trouve en général remplie d'elle-même.

Leur étude détaillée montre que, suivant les cas, leur importance relative est différente, et qu'elles peuvent être réalisées par des moyens variés, soit électriques, soit simplement mécaniques. On ne peut donc pas ramener à une formule unique la question du couplage en parallèle, et il y a lieu de distinguer l'aptitude théorique au couplage de la bonne marche en parallèle, telle qu'on l'obtient en pratique avec des machines en apparence peu favorables.

L'aptitude au couplage consiste dans la limitation la plus étroite possible des décalages permanents ou oscillatoires et de l'échauffement qui en résulte, par l'effet seul des réactions électromagnétiques. La sécurité en marche synchrone restant à peu près la même quelle que soit la self-induction, les meilleurs alternateurs

sont ceux qui, à puissance égale, ont la moindre résistance et la moindre inductance $\left(\text{à condition que } \frac{m\,l}{r} \text{ reste plus grand que } 1\right)$. Ce sont donc ceux qui ont la caractéristique la moins tombante et pour lesquels le rapport $\frac{I_e}{I_{ce}}$ de l'intensité nominale à l'intensité en court circuit est le plus petit. Le jour où l'on pourra adjoindre des condensateurs ou polarisateurs à chaque machine, on obtiendra à coup sûr, en réalisant la condition d'Hopkinson, une marche en parallèle impossible à rompre et parfaitement à l'abri de toutes les oscillations dangereuses. Mais actuellement l'inductance est trop forte pour pouvoir remplir ce second desideratum sans le secours de conditions auxiliaires.

La bonne marche pratique peut être obtenue, soit en employant des alternateurs très aptes au couplage (en tenant compte de la restriction précédente), soit même avec des machines médiocres, en remplissant simultanément les deux conditions suivantes :

1° Maintenir l'égalité approximative des charges moyennes en employant de préférence des moteurs séparés, en réglant convenablement les régulateurs et les courroies, ou en adoptant des égaliseurs automatiques;

2° Limiter les décalages oscillatoires, soit par l'emploi de moteurs à couples très constants, ou d'une forte inertie naturelle ou fictive, soit (et c'est là probablement un procédé d'avenir) en amortissant toutes les oscillations un peu rapides par la méthode de MM. Hutin et Leblanc. En outre il sera toujours avantageux d'avoir un réglage automatique du voltage.

La *synchronisation initiale* est une question absolument indépendante des précédentes et dont la solution consiste principalement à savoir éviter l'oscillation brusque produite par l'échange des charges; les alternateurs les plus aptes au couplage sont précisément ceux qui exigent les plus grandes précautions à ce point de vue.

Comparaison entre les différents types d'alternateurs.

Puisque l'aptitude électrique au couplage est caractérisée, dans tous les cas, par la faible valeur du rapport de l'intensité nominale à l'intensité en court circuit, il est intéressant, pour établir une comparaison entre les différents types au point de vue de la marche solidaire, de voir comment ce rapport peut varier avec les éléments de construction.

On démontre d'abord aisément qu'il est indépendant (au moins approximativement) du mode d'enroulement de l'induit, ainsi que la puissance, et qu'il est fonction seulement du flux inducteur utile et du flux propre de l'induit.

On en déduit que les alternateurs les plus favorables sont ceux qui ont l'induction magnétique la plus élevée, le circuit magnétique le plus résistant, la plus faible densité de courant nominal dans l'induit, la forme de bobine et l'enroulement assurant la force électromotrice la plus élevée pour un champ donné.

Ces conditions sont en général favorables à la constance du voltage, mais défavorables à l'obtention de la puissance maxima.

On démontre en second lieu que l'on peut réaliser des alternateurs sans fer également satisfaisants, quelle que soit la fréquence adoptée.

Quant aux alternateurs à fer ils se distinguent des autres par la faible valeur de leur résistance magnétique et surtout par la nécessité où l'on se trouve, à cause de l'hystérésis et des courants de Foucault, de limiter le champ magnétique à une valeur inférieure à celle des alternateurs sans fer, qui atteint jusqu'à 8000 C. G. S.; cette réduction est naturellement d'autant plus forte, que la fréquence employée est plus grande; on en conclut :

1° Qu'au point de vue du couplage il y a avantage à employer avec ces alternateurs des fréquences relativement basses. Cette condition est du reste favorable à l'emploi des petits moteurs dont on ne peut augmenter beaucoup le nombre de pôles, mais le bon rendement des transformateurs et des arcs à courants alternatifs exigerait une périodicité plus grande;

2° En comparant les alternateurs à fer, même avec la fréquence qu'on a choisie spécialement pour eux, on voit qu'ils présentent des constantes en apparence beaucoup moins favorables que celles des machines sans fer : le rapport $\frac{I_e}{I_{ce}}$ ne dépasse pas 2 en général, tandis qu'il atteint 2,72 pour l'alternateur Mordey et même 5 pour

l'alternateur Labour, valeur la plus élevée que je connaisse.

Les machines à fer se présentent donc sous un aspect peu favorable, et leurs diagrammes construits d'après les valeurs moyennes de l'inductance ne satisferaient pas en général aux conditions de stabilité absolue.

Cependant on sait que ces machines donnent en pratique une excellente marche, à la fois pour le transport de force et pour le couplage en parallèle.

Pour expliquer cette contradiction entre l'expérience et la théorie, on peut invoquer tout d'abord l'effet de l'inertie, car nous avons vu le rôle important qu'elle peut jouer pour réduire l'effet des impulsions brusques, et surtout pour amortir les pulsations. Cet effet suffit à assurer un avantage marqué aux alternateurs ayant une forte inertie, lorsqu'ils sont soumis à des causes d'oscillations rapides, comme cela a lieu pour les réceptrices, ou pour les génératrices commandées par courroies. Mais, lorsqu'il s'agit de machines couplées en parallèle et commandées directement par leurs moteurs, l'inertie de chacune est toujours faible à côté de celle du volsnt correspondant et ne saurait par conséquent jouer un rôle sérieux dans la question.

L'explication des propriétés favorables des machines à fer doit donc être cherchée ailleurs, c'est-à-dire, je le crois, dans la variation de l'inductance en fonction de l'intensité et du décalage du courant dans l'armature. On constate en effet facilement par l'inspection des caractéristiques, que la self-induction telle que je l'ai définie, diminue quand l'intensité augmente et croît avec le décalage, surtout dans les machines du type Zipernowski.

Or les diagrammes des intensités montrent que l'intensité se décale et diminue très rapidement dans l'alternateur en retard, tandis quelle croît en gardant à peu près sa phase dans l'alternateur en avance. Par conséquent les self-inductions moyennes deviennent inégales, plus fortes dans l'alternateur en retard que dans l'alternateur en avance, et comme c'est d'elles que dépend le partage du courant, cette dissymétrie aura pour effet d'exagérer encore l'inégalité des charges produites par le décalage, et, par conséquent, de donner au couple élastique une valeur bien supérieure à celle qu'il a en apparence.

Par suite de cet effet tout spécial, certaines machines à fer peuvent être aussi aptes au couplage que les machines sans fer; et l'on voit que, pour les établir en vue de la marche solidaire, on devra se préoccuper non seulement de diminuer l'inductance, mais encore d'en rendre les variations aussi grandes que possible; il est avantageux à ce point de vue d'avoir des alternateurs à entre-fer très inégal.

Au lieu de faire varier la self-induction, on peut obtenir le même résultat, c'est-à-dire l'augmentation de dissymétrie entre les charges, en donnant aux alternateurs une excitation composite, à l'aide du courant principal redressé; l'effet ainsi obtenu doit contribuer pour une large part à la réussite du couplage avec la machine Thomson-Houston.

En résumé, il résulte de cette comparaison rapide :

1° Qu'en ayant soin de définir et de mesurer la self-induction comme un coefficient *empirique* et *variable*, la théorie rend compte de tous les faits, et permet de prévoir les conditions de couplage, surtout pour les machines sans fer. Pour les machines à fer on ne pourrait déterminer les réactions d'une manière rigoureuse que par la méthode expérimentale, indiquée au début de cette étude.

2° Qu'il n'y a pas plus un type unique d'alternateur apte au couplage qu'il n'y a une condition unique de bonne marche en parallèle; et que l'on ne peut opposer les machines à fer et sans fer les unes aux autres d'une manière absolue, sans tenir compte du mode de constructisn propre à chacune en particulier.

C'est cette diversité d'effets électriques et mécaniques susceptibles d'influer sur la réussite pratique du couplage, que je me suis efforcé de mettre en lumière dans cette étude, en donnant à chacun sa valeur relative [1].

---

[1] M. Blondel nous prie de faire remarquer que c'est de cette façon que doit être interprété le paragraphe du haut de la page 310 (*La Lumière Électrique*, t. XLVI), 1re colonne, passage qui sous sa forme actuelle, peut prêter à la critique. Il convient donc de remplacer la première rédaction par la suivante : « La condition est suffisante mais nullement nécessaire; elle peut même quelquefois être difficile à réaliser aux faibles charges. En effet les diagrammes des alternateurs Mordey, par exemple, montrent que la puissance nécessaire à l'alternateur A_2 pour franchir la limite OJ_1 à vide est peu supérieure à la puissance *moyenne* P_m que le moteur

En terminant la lecture de son mémoire M. Blondel invite M. Picou à donner à la Société quelques détails sur les essais de couplage des alternateurs qu'il a eu l'occasion de faire il y a quelques années.

M. Boucherot montre que la condition de stabilité en régime permanent que vient de donner M. Blondel, à savoir : qu'il faut et il suffit que la machine en retard fonctionne en réceptrice avant de dépasser l'angle de décalage correspondant au décrochage, et celle qu'il a donnée dans ce journal et qui consiste en ce que la machine en avance exige pour dépasser l'angle de décrochage une puissance supérieure à celle que peut lui fournir son moteur sont au fond les mêmes, bien qu'elles paraissent, au premier abord, absoluments différentes.

Il suffit pour le voir de se reporter aux figures et représentant les puissances en fonction du décalage, de la page 209 (vol. 45) en y plaçant convenablement, sur l'axe des puissances, l'origine correspondant à chaque cas.

Ces figures sont reproduites ici pour plus de clarté.

On voit à leur simple inspection que pour que la condition de M. Blondel soit remplie, il faut et il suffit que la courbe de la machine en retard coupe l'axe $o\,\theta$, car dès que ceci a lieu, la machine en retard fonctionne comme réceptrice et le minimum de la courbe est le dernier point qui puisse être commun avec l'axe $o\,\theta$.

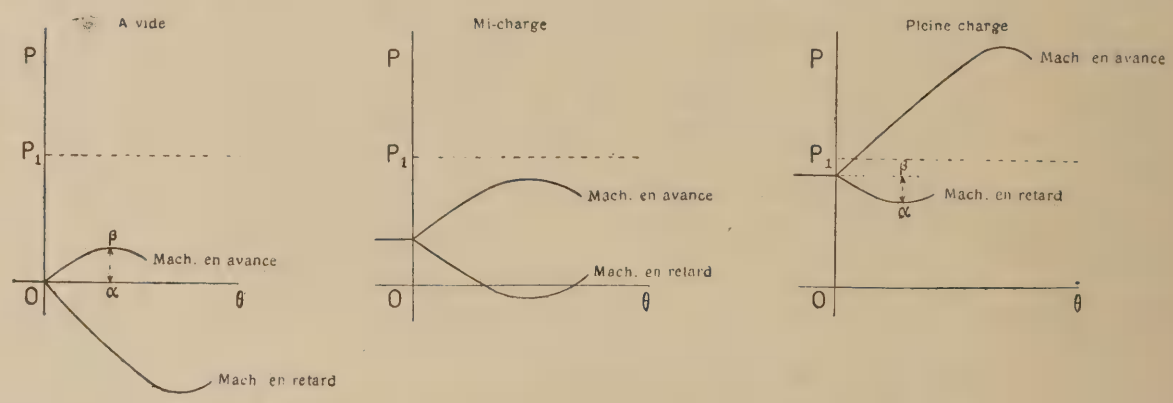


Fig. 12. — Puissances de deux machines en parallèle en fonction du décalage.

Pour que la condition de M. Boucherot soit remplie, il faut et il suffit également que la courbe de la machine en avance coupe la droite horizontale P_1 représentant la puissance du moteur.

La première condition se réalise donc toujours et suffit à vide, la seconde étant superflue. A pleine charge c'est le contraire qui a lieu.

L'effet du constructeur doit tendre à réaliser la première condition à pleine charge et la seconde à vide, et ces tendances sont les mêmes au fond. En effet, les courbes dont il s'agit sont de simples sinusoïdes dont les amplitudes sont d'autant plus grandes que les machines sont plus aptes au couplage, de sorte que si l'on suppose la demi-amplitude $\alpha\beta$ suffisamment grande pour que la courbe de la machine en retard coupe $o\,\theta$ à pleine charge, la courbe de la machine en avance coupera P_1 à vide.

La simultanéité des deux conditions n'est pas nécessaire, il suffit, en effet, qu'à tous les régimes une des courbes coupe $o\,\theta$ ou P_1, c'est-à-dire que l'une des conditions soit remplie.

Ces deux conditions quoique conséquentes

à vapeur doit lui fournir à la charge nominale sans décalage ; par conséquent s'il s'agit d'un moteur à couple franchement variable, tel qu'un moteur à un seul cylindre, le couple de décrochage à vide pourra être inférieur au couple maximum disponible. »

L'auteur nous prie de signaler par la même occasion les errata suivants dans la *La Lumière Électrique*, t. XLVI :

P. 414, 2e col., l. 24 : au lieu de « telles que les a données M. Boucherot », lire « ainsi que l'a du reste fait remarquer M. Boucherot. »

P. 363, l. 20 : lire « la durée d'oscillation propre sera alors supérieure à celle de la période des couples variables. »

P. 465, 2e col., l. 4 : ajouter « en négligeant la résistance intérieure r devant celle du circuit extérieur et devant l'inductance ml » ; et huit lignes plus bas, lire $P = \varepsilon I$, au lieu de $P = E I$.

sont donc à conserver pour être réalisées l'une à défaut de l'autre.

Ceci s'applique uniquement au cas de deux machines; dans le cas d'un nombre quelconque de machines, les deux conditions doivent être simultanément remplies et ne font aucunement double emploi.

M. Blondel est d'accord avec M. Boucherot sur ce dernier point, qu'il a du reste indiqué dans son mémoire, mais il fait une petite réserve sur le premier.

Toutes les fois que la machine en retard marche en réceptrice, la machine en avance absorbe bien en général une puissance supérieure à la puissance *moyenne* maxima du moteur, mais si celui-ci est à couple très variable le couple maximum pourrait être suffisant pour produire le décrochage des deux alternateurs à vide, et, dans ce cas, la marche en réceptrice seule serait capable de l'empêcher.

M. Picou répond ensuite à l'invitation de M. Blondel. Il rappelle qu'il y a cinq ou six ans il eut à s'occuper de la question du couplage des alternateurs du type Ganz pour l'installation de ces machines dans une ville importante.

Les essais réussirent parfaitement à l'atelier, en se servant de la méthode bien connue de l'indicateur de phases. Il n'était même pas absolument nécessaire que celles-ci fussent en parfaite coïncidence. Mais les machines une fois installées, les difficultés furent tout autres; les alternateurs montés sur une même transmission et en escalier se décrochaient très facilement.

Ces difficultés furent attribuées à la différence des courroies; on en fut réduit à les tendre à l'aide de vis et on s'aperçut qu'une variation de tension infinitésimale produisait une différence très grande dans la facilité du couplage.

Dans un second essai, deux machines d'une forte puissance étaient commandées par des moteurs séparés, mais à des distances différentes des alternateurs. Ceux-ci étaient placés de façon à ce que leurs axes fussent sur le prolongement l'un de l'autre; en regardant dans cette direction on pouvait voir alors le déplacement de chaque machine par rapport à l'autre et suivre ainsi l'opération de la synchronisation ou du décrochage. Les difficultés furent les mêmes que dans le cas précédent, un peu moindres cependant.

Les conclusions pratiques qu'on avait tirées de ces essais pour les conditions favorables au couplage étaient : une grande inertie de la dynamo, des liaisons mécaniques aussi faibles que possible, et des liaisons électriques aussi courtes et peu résistantes que possible.

M. Picou termine en rappelant que le diagramme des efforts sur le bouton de manivelle d'un moteur à vapeur ne ressemble en rien au diagramme des efforts sur le piston tel que le trace l'indicateur de Watt, et cela en raison des effets de l'inertie des pièces en mouvement alternatif, qui tendent à régulariser l'effet.

Sur la dissipation de l'énergie électrique dans le résonateur de Hertz, par M. Nikola Tesla [1].

Tous ceux qui ont eu le plaisir d'assister aux belles démonstrations avec les diaphragmes vibrants présentées par M. Bjerknes à l'Exposition universelle de 1889 ont admiré son habileté et le soin extrême apporté par lui dans toutes ses expériences. Les expériences sur la dissipation de l'énergie dans le résonateur de Hertz [2] ont été conduites avec la même sagacité, et les conclusions qui peuvent en être tirées sont des plus intéressantes, puisqu'elles concordent avec les théories émises par les savants les plus éminents. Les considérations qui suivent peuvent servir à expliquer en partie les résultats obtenus par une voie différente, et je voudrais appeler l'attention sur une condition que rencontre l'expérimentateur dans une investigation comme celle de M. Bjerknes.

L'appareil, oscillateur et résonateur, étant plongé dans l'air ou un autre milieu discontinu, il se produit une dissipation de l'énergie électrique par ce que l'on pourrait appeler des *ondes sonores électriques* ou des *ondes sonores d'air électrisé*. Dans les expériences de M. Bjerknes principalement, cette dissipation dans le résonateur mérite d'être prise en considération, quoique les ondes sonores — s'il est permis d'employer ce terme — qui émanent de la surface de l'oscillateur puissent affecter considérablement les observations faites à une certaine distance de celui-ci. Par suite de cette dissipation, la période de vibration d'un condensateur à air ne peut être déterminée exactement, et j'ai déjà appelé l'attention sur ce fait important.

[1] *The Electrical Engineer*, 21 décembre 1892.
[2] *La Lumière Electrique*, t. XLVI, p. 495.

Ces ondes se propagent normalement aux surfaces chargées lorsque ces charges sont alternatives, et la dissipation se produit, même quand les surfaces sont couvertes d'une bonne couche isolante. En supposant que la « charge » communiquée à une molécule soit par contact direct soit par induction, est proportionnelle à la densité électrique à la surface, la dissipation devrait être proportionnelle au carré de la densité et au nombre d'ondes par seconde. Il faut dire que cette supposition ne concorde pas avec quelques observations qui semblent montrer qu'un atome ne peut prendre qu'une certaine charge maxima; la charge communiquée peut donc être pratiquement indépendante de la densité à la surface, mais cette circonstance n'a pas d'importance, relativement aux phénomènes que nous considérons. Ce point, ainsi que plusieurs autres, ne seront éclaircis que lorsqu'on aura effectué des déterminations quantitatives précises.

Actuellement, il semble établi par les expériences avec les courants à haute fréquence que cette dissipation de l'énergie émanant par exemple d'un fil est presque proportionnelle à la fréquence des alternances, et augmente très rapidement lorsque le diamètre du fil diminue beaucoup. A ce propos, les résultats récemment publiés par MM. Ayrton et Kilgour, sur « l'émissivité thermique des fils fins dans l'air » sont curieux. Des fils très fins sont capables de dissiper une quantité d'énergie relativement grande par l'agitation de l'air environnant, lorsqu'on les relie à une source de force électromotrice alternant rapidement. Dans le cas d'un fil chaud, il faut naturellement admettre que l'augmentation de l'émissivité est due à la convection plus rapide et non à un rayonnement plus intense. Si l'on démontrait l'exactitude de cette dernière hypothèse, on trouverait qu'un fil chauffé se comporte à certains égards comme un fil dont la charge alterne rapidement, la dissipation de l'énergie par unité de surface maintenue à une certaine température dépendant de la courbure de cette surface.

Dans le cours de mes expériences, un certain nombre d'observations ont été faites sur les particularités que présentent les fils fins. J'ai remarqué, par exemple, que dans le radiomètre de Crookes, les ailettes sont repoussées plus fortement lorsque le fil de platine incandescent est très fin. Cette observation me permit de produire la rotation de ces ailettes montées dans un tube à vide, en plaçant celui-ci dans un champ électrostatique alternatif. Cela ne prouve rien en ce qui concerne le rayonnement, puisque dans l'air très raréfié les phénomènes sont principalement dus au bombardement moléculaire ou à la convection.

Lorsque j'entrepris de produire l'incandescence d'un fil enfermé dans une ampoule en le reliant seulement à une borne d'un transformateur à haute tension, je fis un grand nombre d'essais sans aucun succès. Dans une occasion, j'avais monté à l'intérieur d'un globe un fil de platine fin, mais mon appareil n'était pas capable de produire l'incandescence. Je construisis d'autres globes en réduisant beaucoup la longueur du fil, modifications qui n'amenèrent pas de résultat plus favorable. Il me vint alors à l'idée d'augmenter autant que possible la surface du fil, mais de réduire les dimensions du globe de verre, et d'employer en même temps un fil excessivement fin. En amenant le courant, le fil fut immédiatement détruit. Une série d'autres expériences montrèrent qu'avec un fil de très petit diamètre la quantité d'énergie dissipée par unité de surface était beaucoup plus grande que celle prévue, même en admettant qu'elle fût proportionnelle au carré de la densité électrique. Il semble aussi établi qu'en augmentant la densité, la dissipation est plus rapide pour les fils fins que pour les gros fils.

Les effets observés dans l'air raréfié avec des courants à haute fréquence diminuent simplement d'intensité dans l'air à la pression ordinaire. Deux fils très fins attachés aux bornes d'une bobine à haute fréquence sont capables d'émettre une quantité appréciable d'énergie. Quand la densité est très grande, la température des fils peut être élevée d'une façon sensible, et dans ce cas la plus grande partie de l'énergie dissipée à cause de la présence d'un milieu discontinu est probablement transformée en chaleur à la surface ou très près des fils. Cet échauffement ne pourrait se produire dans un milieu possédant l'une des deux propriétés suivantes : incompressibilité parfaite ou élasticité parfaite. Dans les isolants liquides, comme les huiles, qui sont pourtant loin d'être incompressibles ou élastiques relativement au déplacement électrique, l'échauffement est beaucoup plus faible par suite de la continuité du fluide.

Quand la densité électrique à la surface des fils est faible, il n'y a pas d'échauffement local appréciable; néanmoins, de l'énergie se trouve dissipée dans l'air par des ondes qui ne diffèrent des ondes sonores ordinaires que parce que l'air est électrisé. Ces ondes sont particulièrement constatées lorsqu'on lance les décharges d'une batterie puissante à travers une barre métallique courte et épaisse, le nombre des décharges par seconde étant très petit. L'observateur peut sentir le remous de l'air à des distances de deux mètres et plus de la barre, surtout s'il a la précaution de s'asperger les mains ou le visage avec de l'éther. Ces ondes ne peuvent être entièrement arrêtées par l'interposition d'une plaque métallique isolée.

La plupart des remarquables phénomènes de déplacement mécanique, de son, de chaleur et de lumière impliquent la présence d'un milieu destructeur gazeux, c'est-à-dire consistant en supports indépendants capables de se mouvoir librement.

Lorsqu'on place une plaque de verre près d'un condensateur dont la charge est alternée, la plaque émet un son. Ce son est dû à l'afflux rythmique de l'air contre la plaque. J'ai aussi trouvé que le son émis par un condensateur, phénomène observé par sir William Thomson, est dû à la présence de l'air entre ou près des surfaces chargées.

Lorsqu'une bobine à décharges disruptives est immergée dans de l'huile, on observe que la surface de l'huile est agitée. On pourrait croire que ce résultat provient des déplacements que provoqueraient les tensions variables; mais ce n'est pas le cas. C'est l'air au-dessus de la couche de liquide qui se trouve agité et qui produit l'agitation de la surface. Les déplacements qui proviennent des tensions électrostatiques variables sont insignifiants. L'action de l'air se manifeste d'une façon curieuse; car si l'on approche de la surface de l'huile la pointe d'une barre métallique que l'on tient à la main, l'air forme dans l'huile un trou profond de 5 centimètres, les molécules d'air étant violemment projetées par la pointe.

Ces considérations peuvent s'appliquer d'une manière générale aux recherches sur les courants à haute fréquence et à haute tension, mais elles ont aussi une signification directe dans les expériences de M. Bjerknes, en ce sens que l'effet superficiel (skin effect) est accru par l'action de l'air. Imaginons un fil plongé dans un milieu dont la conductibilité serait une fonction de la fréquence et à la différence de potentiel, mais une fonction telle que la conductibilité croisse lorsque l'un ou l'autre de ces deux facteurs est augmenté. Dans un tel milieu, plus la fréquence et la tension sont élevées, plus le courant qui fuira à travers le milieu sera intense, et plus petite sera la partie du courant qui passera à travers les portions centrales du fil. Dans le cas d'un fil dans l'air et traversé par un courant à haute fréquence, la facilité avec laquelle l'énergie est disposée peut être considérée comme l'équivalent de la conductibilité; et l'analogie serait tout à fait complète si l'on ne se trouvait pas, à côté de l'air, en présence d'un autre milieu, la dissipation totale étant modifiée par la présence de l'air à un degré qui n'a pas encore été déterminé. Quoi qu'il en soit, je crois pouvoir conclure que les résultats obtenus par M. Bjerknes sont affectés par la présence de l'air dans les conditions suivantes :

1. La dissipation de l'énergie lorsque le résonateur est plongé dans l'air est plus rapide que si le milieu était pratiquement continu, comme dans le cas de l'huile.

2. La dissipation due à la présence de l'air rend plus accentuée la différence entre les métaux magnétiques et non magnétiques.

La première conclusion est une conséquence directe des remarques précédentes; la seconde est tirée de ces deux faits que le résonateur reçoit toujours la même quantité d'énergie indépendante de la nature du métal, et que le magnétisme du métal augmente l'inductance du circuit. Un résonateur en métal magnétique se comporte virtuellement comme si le circuit était plus long. Il se forme une plus grande différence de potentiel par unité de longueur, quoique ceci puisse ne pas se manifester dans la déviation de l'électromètre, par suite de la dissipation latérale. L'effet de l'élévation de l'induction est démontré d'une manière frappante dans les deux expériences de M. Bjerknes, lorsque du cuivre est déposé sur un fil de fer, et du fer déposé sur un fil de cuivre. Il fallait une grande épaisseur de cuivre dans le premier cas, mais une faible épaisseur de fer dans le second.

En m'appuyant sur ces considérations, je crois que dans les expériences de M. Bjerknes, qui l'ont d'ailleurs conduit à des conclusions sans aucun doute correctes, l'air est un facteur aussi important sinon plus important que la résistance des métaux.

A. H.

Piles voltaïques à électrolytes fondus, par M. J. Brown [1].

Si toute la chaleur dégagée par les réactions chimiques qui s'effectuent au sein d'une pile était employée à produire le courant, la force électromotrice E de la pile s'en déduirait facilement. En effet, en admettant que 1 coulomb décompose $0,1035 \times 10^{-4}$ de l'équivalent électrochimique du corps, exprimé en grammes, on aurait $E = \frac{Q}{10\,000} \times 0,432$, pour la force électromotrice exprimée en volts, Q étant la chaleur dégagée par la réaction dont la pile est le siège quand un équivalent d'un des corps qui réagissent est décomposé.

On sait que de nombreuses expériences effectuées sur les piles à électrolytes dissous ont donné des résultats en désaccord avec cette formule. Le désaccord pouvant être attribué à des réactions secondaires dues à la présence du dissolvant, M. Brown a effectué de nouvelles recherches avec des piles à électrolytes fondus.

La figure 1 représente la forme de pile adoptée dans la plupart des expériences. A est un tube de verre dur dont la coudure chauffée par un brûleur Bunsen contient l'un des électrolytes fondus; C est le fil métallique formant l'une des électrodes. Le second électrolyte est placé dans le tube B fermé à sa partie inférieure par un tampon d'amiante qui joue le rôle d'une paroi poreuse; la seconde électrode de la pile est constituée par le fil D.

Quand l'un des métaux employés était fusible dans les conditions des expériences, on le plaçait en *g* dans le tube B (fig. 2) au-dessus d'un tampon d'amiante *e*; entre ce tampon et celui qui ferme l'extrémité inférieure du tube est situé l'électrolyte fondu; enfin, un fil de cuivre *f* plongeant dans le métal fondu forme l'un des pôles de la pile.

Lorsque les deux métaux étaient facilement fusibles, l'élément de pile était constitué par deux pipes en terre placées côte à côte. Les métaux fondus étaient respectivement placés au fond des fourneaux; les électrolytes, situés au-dessus des métaux, étaient réunis par une mèche d'amiante à cheval sur les bords en contact des deux pipes; les deux pôles étaient constitués par des fils de cuivre plongés dans les métaux fondus et sortant par les tuyaux des pipes.

Les forces électromotrices de ces piles étaient mesurées à l'aide d'un électromètre Thomson,

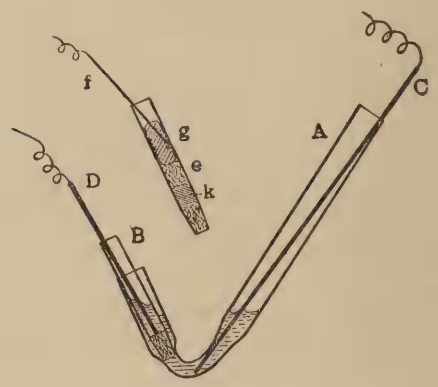


Fig. 1 et 2.

gradué au moyen d'un élément Daniell ayant 1,13 volt pour force électromotrice.

Une première série de mesures fut effectuée en prenant pour électrolytes des chlorures métalliques fondus et pour électrodes les métaux correspondants; en d'autres termes, les piles étaient de la forme

Etain | chlorure d'étain | chlorure de zinc | zinc.

Ces piles, souvent appelées *piles réversibles*, présentent l'avantage de ne pas présenter de polarisation sensible et d'avoir, par suite, une force électromotrice parfaitement déterminée. D'ailleurs, l'auteur s'est assuré directement, pour quelques-unes des piles étudiées, que la force électromotrice conserve la même valeur après que l'élément a été mis en court circuit pendant quelque temps ou après qu'il a été traversé par le courant d'une autre pile mise en opposition.

Le tableau suivant donne les forces électromotrices observées et les forces électromotrices

[1] *Proceeding of the Royal Society*, juin 1891, t. LII, p. 75-91.

théoriques des piles étudiées. Les nombres correspondant à une pile donnée sont situés à l'intersection de la ligne horizontale au commencement de laquelle est inscrit le nom d'un des électrolytes et de la colonne verticale en tête de laquelle se trouve le nom de l'autre électrolyte. Ces forces électromotrices sont exprimées en daniells; les nombres mesurés sont en caractères ordinaires, les nombres théoriques en caractères gras. Pour la commodité des calculs, ces derniers ont été obtenus en calculant la force électromotrice exprimée en daniells, correspondant à la chaleur de formation d'après Thomson, de chacun des chlorures, puis en faisant la différence des deux nombres relatifs à la pile étudiée

On voit que les valeurs observées diffèrent des valeurs théoriques et que dans certains cas

					Zn dans ZnCl
					1,939
				Cd dans CdCl	
				1,86	**0,079**
					0,13
			Pb dans PbCl		
			1,651	**0,209**	**0,288**
				0,14	0,22
		Sn dans SnCl			
		1,612	**0,039**	**0,248**	**0,327**
			0,05	0,16	0,31
	Cu dans CuCl				
	1,312	**0,3**	**0,339**	**0,548**	**0,627**
		0,16	0,21	0 31	0,46
Ag dans AgCl					
1,172	**0,14**	**0,44**	**0,479**	**0,688**	**0,767**
	0,10	0,30	0,31	0,39	0,59

la différence est égale à la valeur observée elle-même; la vérification n'est donc pas plus satisfaisante avec les électrolytes fondus qu'avec les électrolytes dissous.

Mais M. Brown a remarqué qu'on obtenait une concordance parfaite entre les valeurs observées et les valeurs mesurées en ajoutant une certaine quantité à la chaleur de combinaison de chaque chlorure, ou, ce qui revient au même, en augmentant d'une certaine valeur, le nombre qui exprime la force électromotrice en daniells de cette chaleur de combinaison; cette concordance apparaît nettement dans le tableau suivant :

				Zn dans ZnCl	
				1,939 + 0,049 = 1,988	
				Cd dans CdCl	
				1,86	**0,128**
			Pb dans PbCl		0,13
			1,651 + 0,099 = 1,750	**0,110**	**0,238**
		Sn dans SnCl		0,14	0,22
		1,612 0,093 = 1,705	**0,045**	**0,155**	**0,283**
	Cu dans CuCl		0,05	0,16	0,31
	1,312 + 0,23 = 1,542	**0,163**	**0,208**	**0,318**	**0,446**
Ag dans AgCl		0,16	0,21	0,31	0,46
1,172 + 0,273 = 1,445	**0 097**	**0,260**	**0,305**	**0,415**	**0,543**
	0,10	0,30	0,31	0,39	0,52

La correction nécessaire pour obtenir cette concordance est susceptible d'une explication théorique. On sait que les chaleurs de combinaison sont généralement mesurées par des réactions s'effectuant à la température ordinaire, et l'on sait d'autre part combien cette chaleur varie quand on fait varier l'état physique des corps formés. Or, dans les conditions des expé-

riences, les chlorures sont liquides et par conséquent la chaleur de combinaison Q′ relative à ces conditions ne peut être égale à la chaleur de combinaison Q mesurée ordinairement. Si donc on désigne par Q'_1 et Q'_2 les chaleurs de combinaisons, dans les conditions des expériences, des deux chlorures qui forment la pile, la chaleur dégagée est $Q'_1 - Q'_2$, différence qui n'a certainement pas la même valeur que la différence $Q_1 - Q_2$ adoptée dans les calculs; la force électromotrice mesurée ne peut donc être égale à celle qui correspond à $Q_1 - Q_2$. La correction considérée doit, par suite, être la force électromotrice correspondant à la quantité de chaleur $Q - Q'$ ou plutôt à l'excès de cette chaleur sur celle qui est relative au chlorure de cadmium, puisque la correction a été prise égale à zéro pour ce corps. La simplicité de cette interprétation et la concordance des nombres du tableau précédent donnent alors une forte présomption en faveur de l'exactitude de la formule rappelée en commençant.

Une seconde série d'expériences a été faite avec des mélanges de chlorure de potassium et de chlorure des métaux suivants : magnésium, aluminium, zinc, cadmium, plomb, fer, étain, cuivre, argent. L'infusibilité du chlorure de fer, la fusion difficile du chlorure de magnésium, la grande volatilité du chlorure d'aluminium ne permettaient pas en effet d'opérer comme précédemment; l'addition de chlorure de potassium rendait les expériences plus faciles.

Mais on pourrait objecter que le chlorure de potassium agit comme un véritable dissolvant et qu'on retrouvera l'inconvénient signalé pour les piles à électrolytes dissous, inconvénient que précisément l'auteur désirait éviter. En réalité, il existe des différences importantes entre une dissolution aqueuse et une dissolution dans le chlorure de potassium. En premier lieu, dans cette dernière, l'anion du dissolvant est le même que celui du corps dissous. En second lieu, la chaleur de combinaison de KCl étant plus grande que celle des autres chlorures, il n'y a aucun danger que, en présence du métal du chlorure dissous, l'électrolyse se porte sur KCl. En un mot, les réactions secondaires ne sont pas à craindre.

Nous croyons inutile de donner les résultats de cette série d'expériences. Disons seulement qu'ils ne concordent pas avec les forces électromotrices théoriques calculées au moyen des chaleurs de combinaisons des chlorures, mais que, comme pour les premières expériences, on obtient un accord très satisfaisant en ajoutant une certaine quantité à chacune de ces chaleurs de combinaisons.

Ajoutons que, à notre avis, l'interprétation théorique de la correction ne nous paraît pas tout à fait correcte en général. On sait, en effet, que toute la chaleur chimique d'une pile n'est pas employée à la production du courant, mais qu'une partie est dépensée par la production des effets Joule et Pellier à l'intérieur de la pile. Les différences entre les forces électromotrices calculées et les forces électromotrices observées doivent donc provenir en partie des effets Joule et Pellier.

Il est vrai que ces effets sont toujours très petits et que la variation des chaleurs de combinaison paraît être le principal facteur de ces différences. De plus, il résulte d'un travail de M. L. Poincaré, publié dans ce journal [1], que pour l'une des piles étudiées par M. Brown, la force électromotrice réelle doit être égale à celle qui correspond à la chaleur chimique. M. L. Poincaré a en effet constaté que la force électromotrice du couple zinc | chlorure de zinc | chlorure d'étain | étain, est indépendante de la température entre 275 et 350°. Or, en appelant E_1 la force électromotrice réelle d'une pile réversible et E celle qui correspond à la chaleur de combinaison, on a, d'après Helmholtz,

$$E_1 = E + T \frac{dE_1}{dT};$$

par conséquent, on a bien pour la pile considérée $E_1 = E$, puisque le dernier terme du second membre de la formule est alors nul.

Dans ce cas, la différence entre la force électromotrice mesurée et la force électromotrice calculée ne peut donc provenir que de l'inexactitude des chaleurs de combinaison adoptées pour le calcul, et l'interprétation théorique de la correction donnée par M. Brown est tout à fait correcte.

J. B.

[1] *La Lumière Électrique*, t. XXXVII, p. 325 et 184. — *Journal de Physique*, t. IX, p. 550.

FAITS DIVERS

La coupole de l'observatoire du Parc-Saint-Maur est en place, ainsi que la lunette équatoriale qui doit servir dorénavant à la photographie des taches du soleil, de manière à rapporter ces objets célestes à la rotation du soleil et à déterminer ce que l'on nomme leur latitude héliocentrique.

Ce progrès dans l'installation de la station type du bureau central n'est point le seul que nous ayons été appelé à constater.

Les trois circuits destinés à l'étude des courants telluriques ont été mis en place et aboutissent à la salle des enregistrements. Quand les travaux intérieurs seront terminés, cette salle offrira la plus surprenante ressemblance avec celle des enregistrements magnétiques. La seule différence, c'est que les barreaux aimantés seront remplacés par autant de galvanomètres destinés à mesurer les variations des courants telluriques.

M. Moureaux, directeur de l'Observatoire magnétique, a déjà mis en service régulier l'enregistreur des courants telluriques engendrés dans la direction du méridien. Les courants sont si énergiques que pour éviter la sortie de la trace lumineuse des limites du papier sensibilisé, M. Moureaux a été obligé d'avoir recours à un shunt. Les galvanomètres sont apériodiques et ont été construits d'après le système d'Arsonval-Deprez.

M. Moureaux a déjà remis depuis quelques jours à M. Mascart la courbe obtenue dans cette direction. Elle offre une analogie des plus remarquables avec celle des perturbations de la déclinaison.

Reste à établir si le synchronisme des ondulations est absolu, ce qui sera l'objet de recherches très minutieuses. M. Moureaux ne négligera rien pour reconnaître la vérité sur un point de cette importance. En effet, si les variations sont synchroniques, les deux phénomènes doivent être considérés comme dépendant tous deux d'une cause unique. Mais il n'en est pas de même si le synchronisme n'est point établi. Dans ce cas, le phénomène précédant l'autre, ne fût-ce que d'une fraction de seconde, peut en être considéré comme la cause.

Décidément l'Exposition de Chicago va avoir sa tour, mais dans des proportions plus modestes que la tour Eiffel. Sa base aura 60 mètres de diamètre et sa hauteur sera d'environ 170 mètres La partie inférieure sera occupée par un soubassement en maçonnerie d'une trentaine de mètres d'élévation d'où sortiront plusieurs rangées de barres de fer d'un peu plus de 100 mètres de hauteur. Ces barres seront réunies par le haut par une sorte de plateforme surmontée d'un dôme. Elles soutiendront un chemin de fer électrique en spirale, qui amènera les voyageurs à la plateforme d'en haut et les en fera descendre. Le développement de cette voie ferrée singulière sera d'un mille anglais.

La machine engendrant l'électricité aura une force de 2000 chevaux. Les trains seront éclairés à la lumière électrique. La tour elle-même sera décorée d'un grand nombre de lampes. On compte beaucoup sur l'effet artistique produit par cette illumination.

La Tour est élevée en face du Palais des Arts de la femme.

Les orages de la fin de l'année 1892 ont interrompu le service des téléphones urbains à New-York, mais les téléphones à longue distance ont échappé à cette perturbation.

Cette circonstance, qui semble profondément étonner l'*Electrical Engineer*, de Londres, n'a rien que de très facile à expliquer, si l'on admet que, malgré leur intensité considérable, les perturbations qui ont arrêté le service urbain étaient simplement locales et, par conséquent, ne pouvaient affecter les courants d'induction provenant d'une station lointaine

La Compagnie générale des Omnibus de Londres a mis en service, à l'occasion de la Christmas, 120 voitures éclairées à la lumière électrique.

Chacun de ces véhicules porte dans la partie centrale du plafond une lampe à incandescence horizontale. Le courant est fourni par une pile primaire, du poids de 4 kilogrammes, placée sous une des tiges.

L'Académie royale des sciences de Turin, se conformant aux dispositions testamentaires du docteur Cesar Alexandre Bressa, rappelle que depuis le 1er janvier 1891, il est ouvert un concours auquel peuvent prendre part les savants et les inventeurs de toutes les nations.

Ce concours a pour but de récompenser le savant ou l'inventeur, à quelque nation qu'il appartienne, qui, durant la période quadriennale de 1891-1894, au jugement de l'Académie des sciences de Turin, aura fait la découverte la plus éclatante et la plus utile, ou qui aura produit l'ouvrage le plus célèbre en fait de sciences physiques et expérimentales, histoire naturelle, mathématiques pures et appliquées, chimie, physiologie et pathologie, sans exclure la géologie, l'histoire, la géographie et la statistique.

Ce concours sera clos le 31 décembre 1894.

La somme fixée pour ce prix, la taxe de l'imposition mobilière déduite sera de 10416 (dix mille quatre cent seize) francs.

Les personnes qui ont l'intention de se présenter à ce concours devront s'adresser au président de l'Académie.

L'ouvrage envoyé devra être imprimé. Les ouvrages non récompensés seront rendus.

Aucun des membres associés nationaux, résidents ou non résidents, de l'Académie de Turin, ne pourra obtenir ce prix; mais il peut être attribué à tout savant même n'ayant pas pris part au concours.

Le retaillage des limes et l'affûtage des lames coupantes par l'électricité ont été signalés à plusieurs reprises. Ce procédé n'est pas nouveau, puisqu'il a été breveté en 1857 par M. Landrin. Mais on en a reparlé dans ces derniers temps, parce que d'autres brevets ont été pris pour de légères modifications du premier procédé. Le premier inventeur décape la lime en s'en servant comme pôle positif dans une cuve électrolytique et en employant des piles; d'autres remplacent le zinc d'une pile par l'outil à décaper.

Ces divers procédés seraient réellement avantageux s'ils étaient susceptibles de donner de bons résultats, car le retaillage mécanique des limes est une opération laborieuse, et l'affûtage des couteaux de diffusion en sucrerie pourrait aussi se faire à moindres frais et plus rapidement. Mais les opinions sont très partagées quant aux résultats obtenus. Beaucoup d'industriels s'en servent et s'en déclarent satisfaits, tandis que nous avons entendu d'autres constructeurs en parler défavorablement.

L'inventeur du premier procédé a d'ailleurs reconnu lui-même, deux ans après sa prise de brevet, dans son *Traité de l'acier*, que le procédé n'a pas donné les résultats que l'on en attendait.

M. Violle est arrivé à déterminer la température de l'arc électrique par des expériences poursuivies avec le soin le plus méticuleux, quoiqu'elles fussent très pénibles, parce qu'on ne sait, pendant les diverses opérations qu'elles exigent, comment se préserver le visage et surtout les yeux. Il a reconnu que dans des limites très étendues, de 500 à 34 000 watts, l'éclat de l'électrode positive est identiquement le même pour les arcs de puissance si différente.

Il résulte de là que la température du charbon positif, ainsi que celle des particules de charbon contenues dans l'arc, est constante, quelle que soit la dépense d'énergie. C'est donc la température de volatilisation du carbone.

Pour mesurer cette température, on faisait au charbon positif une encoche à un centimètre de son extrémité; puis, quand le passage du courant avait donné à ce bouton terminal du charbon tout son éclat, on le détachait par un choc et on le faisait tomber dans un calorimètre, toutes choses étant disposées pour que ce fragment n'éprouvât qu'une perte de chaleur très faible. Les opérations ordinaires ont donné la température cherchée; elle est de 3500°; c'est celle de la partie la plus chaude du charbon positif ainsi que de l'arc, ou la température de volatilisation du carbone.

Ces résultats ont été communiqués à l'Académie; à l'occasion de cette communication, M. Berthelot rappelle que dans ses études avec M. Vieille sur les mélanges gazeux explosifs, on a obtenu des températures de 4500°. La comparaison de ce chiffre avec celui obtenu par M. Violle tend donc à faire rentrer dans les limites des observations ordinaires des physiciens et des chimistes un ensemble de phénomènes qui avaient été jusqu'ici rendus obscurs par les évaluations exagérées des températures de l'arc électrique. Ces températures peuvent être atteintes et même dépassées dans des réactions d'ordre purement chimique.

Les chutes de Montmorency, au Canada, célèbres par leur aspect pittoresque, et le château voisin rempli de souvenirs historiques du temps de la conquête du pays par les Anglais, ont été achetés 225,000 francs par une compagnie de transport de force électrique. On utilisera le château pour la construction de la salle des machines et la majeure partie de l'eau passera par les turbines.

Ce site célèbre cessera d'être un but d'attraction pour les touristes. Dans ce cas, l'on n'aura pu joindre l'utile à l'agréable; comme toujours, c'est l'utile qui l'a emporté.

Lord Rowton, philanthrope anglais, a ouvert, près de la station du Wauxhall, à Londres, une construction monumentale consacrée à loger les pauvres gens à raison de 60 centimes par nuit.

Les locataires ont à leur disposition, non seulement une petite chambre, mais un réfectoire, une salle de réception, une bibliothèque, une salle de bain; un coiffeur est attaché à l'établissement.

Lord Rowton a fait ses calculs de manière à retirer 5 o/o de son argent. Les meubles sont solides et propres, ainsi que les matelas et les draps. L'éclairage électrique, par raison de confort autant que d'économie, a été adopté dans tout l'établissement.

A peine la nouvelle et pittoresque route de Glion aux Avants est-elle livrée à la circulation, écrit la *Feuille d'avis de Vevey*, qu'on songe déjà à un tramway électrique sur ce même tracé; le courant serait fourni par l'usine de Montreux. Mais on parle d'un projet bien plus hardi encore et qui serait une vraie nouveauté pour notre contrée; c'est l'installation d'un chemin de fer aérien entre Glion et Sonzier, dans le genre de celui dont la concession avait été demandée pour le sommet du Pilate.

Cependant, comme la distance entre Glion et Sonzier est trop grande, on ferait à partir de l'une et l'autre de ces localités un chemin descendant à peu près au tiers de la

hauteur du ravin, au-dessus des gorges du Chauderon. Un fort câble en fil de fer solidement fixé dans le roc relierait les deux côtés; sur ce câble roulerait, suspendu par des poulies, un wagonnet pouvant contenir de quatre à six passagers. La force motrice nécessaire pour le va-et-vient de ce wagonnet serait également fournie par l'usine électrique ou par le trop-plein du réservoir de Sonzier.

Eclairage électrique.

Le besoin d'un bel éclairage se développe de plus en plus; c'est ce qu'on est amené à répéter chaque fois que l'on a sous les yeux la statistique de l'éclairage d'une grande ville. Aujourd'hui c'est la consommation de Berlin qui nous fournit un exemple.

Le volume total de gaz d'éclairage consommé dans cette ville en 1891 a été de 115 086 931 mètres cubes, en augmentation de 3 325 290 mètres cubes ou 3 o/o sur l'année précédente. Fin mars de l'année précédente il y avait à Berlin 7876 lampes à arc et 140 276 lampes à incandescence, toutes ces lampes correspondant à un total de 187 724 becs de gaz. En mars 1891 ce nombre ne correspondait qu'à 145 565 becs de gaz. L'accroissement a donc été de 42 159, soit de 29 o/o.

Sous les auspices de la Société d'électricité de Berlin des expériences ont été faites au champ de manœuvres de Tempelhof, en présence d'officiers supérieurs, avec un système de lanternes construites dans les ateliers de la Société, pour rechercher les blessés sur le champ de bataille.

Cette lampe doit encore rendre possible la découverte d'individus isolés à une distance de 100 mètres. Elle est alimentée par une batterie d'accumulateurs pesant 8 kilogrammes, établis dans le sac d'ordonnance du brancardier. Elle a une puissance lumineuse de 50 bougies, est pourvue d'un réflecteur, et très facile à manier. L'énergie emmagasinée dans la batterie n'est épuisée qu'après plusieurs heures d'éclairage.

Les installations électriques de Zurich fournissent un exemple du progrès fait depuis une dizaine d'années par le courant alternatif.

Dès 1883 on s'était occupé dans cette ville de l'éclairage électrique. Jusqu'en 1890 on avait établi à Zurich et dans les environs 47 installations privées avec 48 dynamos, comprenant 3 installations à accumulateurs, 2 transports de force, et l'éclairage par 214 lampes à arc et 3580 lampes à incandescence.

En 1889 la municipalité de Zurich se déclara en faveur de l'éclairage électrique public par une usine municipale. On devait employer un système mixte; quatre dynamos à courant continu devaient fournir l'éclairage public par lampes à arc, parce qu'on était convaincu alors que le courant alternatif ne convenait pas à l'éclairage à arc; six machines à courants alternatifs devaient alimenter les lampes à incandescence. Mais on comprit bientôt que ce système double serait fort onéreux, et en septembre 1890 il fut décidé que l'on abandonnerait le système mixte pour le remplacer par une distribution à courants alternatifs seulement.

L'installation a été établie par les ateliers de construction d'Œrlikon. La force motrice est fournie par une chute de la Limmat. Mais comme la quantité d'eau disponible est très variable, il a fallu ajouter des machines à vapeur, ce qui rend l'exploitation un peu coûteuse, le charbon étant très cher.

La station centrale combinée avec les machines hydrauliques de la ville comporte deux turbines à basse pression donnant ensemble 350 chevaux, une machine à 300 chevaux, et deux autres turbines de 30 chevaux, ces dernières actionnant les excitatrices.

Le courant est produit par deux alternateurs de 200 chevaux chacun. L'installation est destinée provisoirement à l'alimentation de 6000 lampes à incandescence. Mais les conducteurs souterrains posés sont calculés pour 10 à 12 000 lampes. Trois câbles conduisent le courant, sous une tension de 2000 volts, au centre de distribution, et de là aux stations de transformateurs installées dans des constructions légères devant les machines.

Il existe actuellement neuf de ces stations; elles alimentent 3500 lampes de 16 bougies, 30 lampes à arc pour éclairage privé, et 45 lampes à arc pour éclairage public.

La ville prélève une taxe fixe annuelle de 10 francs par lampe à incandescence. Le prix de l'énergie est de 70 centimes le kilowatt-heure, chiffre assez faible. Si la ville se décidait à abandonner le prélèvement de la taxe fixe, il est certain que l'éclairage électrique se développerait plus rapidement dans cette ville.

Télégraphie et Téléphonie.

Nous extrayons du rapport de l'administration postale allemande les renseignements suivants sur les travaux de l'Office technique des télégraphes, pendant ces trois dernières années.

Ce bureau est chargé de l'examen des instruments de mesure, des appareils de service, tels que, par exemple, des commutateurs téléphoniques, et de toutes les questions techniques en relation avec la télégraphie.

L'Office a procédé à l'examen du matériel de construction télégraphique; les études électriques et mécaniques que cet examen a comportées ont été très complexes. Un autre travail important de l'Office technique consiste dans le contrôle des câbles télégraphiques et téléphoniques que fournit la maison Siemens. Ce contrôle occupe ordinairement un ingénieur pendant deux jours par semaine. On

a examiné le matériel des lignes intérieures de 506 postes et 347 câbles, dont 160 câbles téléphoniques à 28 conducteurs.

Dans le but d'obtenir un aperçu comparatif de la capacité de transmission des différents câbles actuellement en usage, l'Office technique a établi des courbes pour la vitesse de transmission basées sur des mesures précises.

L'étude et la comparaison des résultats des mesures effectuées depuis un certain nombre d'années ayant fait ressortir l'importance de la fixation d'un coefficient de température pour la gaine de gutta-percha, on a fait à cet égard une série d'expériences préliminaires sur le câble de Berlin à Schœneberg.

La nouvelle ligne sous-marine d'Emden à Bacton a servi à une étude de l'induction réciproque des conducteurs et de la vitesse de transmission, dans le but d'obtenir des données pratiques pour l'exploitation de ce long câble à conducteurs multiples. Pour le câble de Hoyer à Arendal, on a construit, afin de perfectionner son fonctionnement, des résistances à forte self-induction que l'on a ensuite intercalées en dérivation sur cette ligne.

L'Office technique est parvenu à améliorer d'une manière sensible le fonctionnement de l'appareil Hughes sur les lignes sous-marines et sur de grandes lignes souterraines, à la suite d'expériences qu'il a faites en interca lant près de l'électro-aimant du poste d'émission une dérivation temporaire exempte d'induction et en même temps dans la ligne une dérivation permanente avec induction.

Pour étudier la propagation du courant dans les lignes et les appareils, dont la connaissance exacte est importante pour le perfectionnement du service et des appareils, on a construit un instrument pour la mesure des ondes électriques, au moyen duquel on peut déterminer par le galvanomètre la tension et l'intensité du courant à toutes les phases de l'onde.

A la suite de ces essais, on a pu étudier d'une manière plus complète et plus exacte que précédemment la marche du courant dans les lignes télégraphiques et les phénomènes électriques qui se produisent dans les circuits téléphoniques et les appareils. Ces recherches, qui ne sont pas encore terminées, ne manqueront pas d'avoir des résultats très utiles pour le service téléphonique.

Pour l'exécution de ces expériences, l'Office technique a fait construire une machine à courants alternatifs, dont la vitesse de rotation peut être poussée à 3000 tours par minute. Cette machine produit des courants ayant exactement la forme sinusoïdale et donnant jusqu'à 1200 vibrations par seconde.

On a aussi étendu les expériences téléphoniques aux câbles souterrains en plaçant en circuit des lignes aériennnes en bronze; on a étudié les effets de l'induction dans les lignes de bronze disposées en boucles ainsi que les mesures à adopter pour soustraire les lignes téléphoniques à l'influence de l'induction, la connaissance exacte de toute ces conditions étant devenue très nécessaire par suite de l'extension constante du réseau téléphonique et des installations de lignes à courants intenses.

Les exigences du service téléphonique démontrant de plus en plus l'avantage des câbles de faible capacité, et comme il existe déjà des types de câbles isolés en papier, l'Office technique a effectué plusieurs essais de ces câbles pour en déterminer la valeur pratique. Afin d'obtenir un nouvel élément d'appréciation des appareils téléphoniques, il a aussi mesuré la self-induction d'un grand nombre d'appareils des systèmes les plus usités.

Une série d'expériences faites au sujet du mode de construction des relais ont abouti à la création d'un nouveau système de relais qui, dans l'application pratique, s'est montré supérieur aux systèmes jusqu'alors en usage.

L'office a également entrepris la tâche importante de trouver un moyen de contrôler le nombre des conversations qui s'échangent sur les lignes téléphoniques, et ses études l'ont conduit en premier lieu à la construction d'un compteur de temps à l'usage des bureaux téléphoniques urbains.

Les expériences entreprises en vue de la substitution des accumulateurs aux générateurs de courant actuellement en usage ont été poursuivies avec des résultats très satisfaisants. Elles ont eu pour première conséquence de faire remplecer, au bureau central de Berlin 9345 éléments zinc-cuivre par deux batteries d'accumulateurs de 80 éléments chacune.

Au début, on chargeait ces accumulateurs au moyen du courant distribué par les stations centrales, mais après avoir construit des batteries de plus faibles dimensions, on a réussi à effectuer cette charge d'une manière plus simple, par l'emploi de piles à sulfate de cuivre. Ces essais ont été continués sur une plus grande échelle et permettent d'espérer qu'on trouvera bientôt un générateur simple et réunissant les conditions spéciales exigées dar le service télégraphique.

Comme nous l'avons déjà annoncé, l'administration des Postes et Télégraphes a décidé que les employés seraient habitués à se servir de ce que l'on nomme en Angleterre et en Amérique le *Morse sounder*, c'est-à-dire à déchiffrer les messages à mesure qu'on les entend.

Il est bon d'ajouter, pour l'honneur des employés français, qu'un grand nombre possèdent déjà ce talent, qu'ils ont acquis sans enseignement régulier. Par conséquent, l'éducation spéciale à laquelle seraient soumis les autres ne tardera point à produire tous les résultats qu'on a le droit d'en attendre.

Imprimeur-Gérant : V. Nory.

Imprimerie de La Lumière Électrique. — Paris
31, boulevard des Italiens.

La Lumière Électrique

Journal universel d'Électricité

31, Boulevard des Italiens, Paris

DIRECTEUR : Dr CORNÉLIUS HERZ

XVe ANNÉE (TOME XLVII) SAMEDI 21 JANVIER 1893 N° 3

SOMMAIRE. — Préparation de la gutta-percha; Dr Léon Brasse. — Détails de construction des machines dynamo; Gustave Richard. — Self-induction et capacité; F. Guilbert. — Sur les équations physiques; Clavenad. — Recherches récentes sur la mesure des températures par les procédés électriques; J. Blondin. — Chronique et revue de la presse industrielle : Téléphone double Hayes et Richard. — Pile sèche Vogt. — Machine à recouvrir les fils de Barrett. — Pile Washburn. — Le poids spécifique du peroxyde de plomb formé dans les accumulateurs, par J.-F. Weyde. — Sur le débit spécifique des induits de dynamos avec courant continu, courants alternatifs et courants polyphasés, par H. Goerges. — Revue des travaux récents en électricité : Une modification nécessaire de la loi d'Ohm, par M. Fernando Sanford. — Sur la mesure de la puissance dans les courants polyphasés, par M. A. Blondel. — Les lois électriques et la chimie, par M. J. Vislicenus. — Sur quelques phénomènes lumineux provoqués dans l'air raréfié par la décharge électrique traversant un conducteur continu, par J. Vicentini. — Faits divers.

PRÉPARATION DE LA GUTTA-PERCHA

L'importance que prend de jour en jour, en France, l'industrie de la gutta-percha ne peut tarder à amener la vulgarisation de procédés tenus jusqu'à présent secrets par les industriels qui les possédaient.

Nos connaissances sur ce sujet se bornaient, il y a encore peu de temps, au procédé que M. Wünschendorf avait décrit dans son traité magistral de télégraphie sous-marine (1), quand tout récemment (2) la Société générale des téléphones a bien voulu autoriser un des rédacteurs de cette revue à mettre le public au courant des dernières innovations qu'elle a réalisées dans ses usines de Bezons.

Encouragé par cet exemple, nous voulons donner ici un exposé aussi complet que possible des différents modes de purification employés en Angleterre et sur le continent.

Dès l'origine de la fabrication, nous trouvons déjà en présence les deux modes de purification qui depuis ont tour à tour été préconisés; la purification mécanique et la purification par dissolution.

(1) *La Lumière Electrique*, t. XV, XVI et XVII.
(2) *La Lumière Electrique*, t. XLVI, p. 251, 313 et 367.

Le 14 février 1845, Nickels, de Paris, prenait un brevet pour le nettoyage de la gutta-percha brute par malaxation dans l'eau chaude.

Le 12 janvier 1846, Hancock, de Londres, décrivait ainsi les procédés de préparation de la gutta-percha qu'il avait imaginés :

1° On met la gutta-percha dans une presse à vis ayant un fond criblé de trous et chauffé. Sur ce fond on place plusieurs passoires superposées et de plus en plus fines, de manière que la plus fine se trouve être la supérieure. Cela fait, on fait agir la presse;

2° On traite la gutta-percha par l'huile de térébenthine rectifiée ou un autre dissolvant analogue, on passe la dissolution à travers un filtre et on laisse évaporer jusqu'à ce que la substance ait acquis une consistance pâteuse; dans cet état la gutta-percha peut prendre toutes les formes qu'on lui donnera. On peut aussi chasser le dissolvant par la chaleur.

Procédé de la pile.

L'année suivante, le 12 août 1847, Hancock prenait un brevet pour un appareil mécanique à action continue pour la purification de la gutta-percha.

Le produit brut doit être découpé en fragments au moyen d'une machine dont la figure 2

est une élévation latérale, la figure 1 une vue de face et la figure 3 une section suivant *b b'* (fig. 1 à 3).

a a le bâti, *b b* un plateau circulaire en fer d'environ 1,50 m. de diamètre, dans lequel sont pratiquées trois fenêtres pour l'introduction d'un nombre égal de lames ou couteaux placés dans la direction des rayons à peu près comme dans les coupe-racines à bestiaux; *b'* est un arbre à l'extrémité duquel le plateau *b* est calé et à l'aide duquel on le fait tourner en lui communiquant le mouvement au moyen d'une poulie calée à l'extrémité de *b'* opposée au plateau *b*, *d* est un plan incliné sur lequel les morceaux de gutta-percha brute sont poussés sur les couteaux du plateau tournant *b*, qui les découpe en tranches d'une épaisseur correspondante au degré de saillie des couteaux. Ces tranches sont ensuite

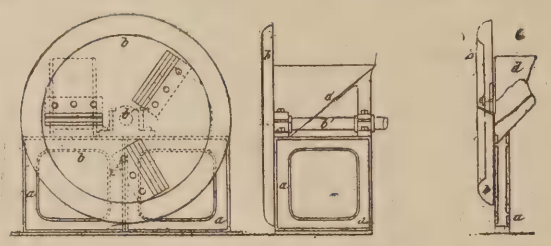


Fig. 1 à 3. — Couteau à gutta.

recueillies et jetées dans un vase rempli d'eau chaude où on les laisse tremper jusqu'à ce qu'elles se ramollissent et deviennent plastiques sous les doigts.

Les couteaux sont représentés droits dans les figures 1 à 3. Mais lorsque la gutta-percha qu'il s'agit de découper est d'une dureté plus qu'ordinaire ou d'une qualité intraitable, il est avantageux d'y substituer des couteaux courbes, ou en forme de faucilles, à cause de leur mode d'action, qui est gradué.

Le plateau *b* tourne à raison de 200 tours par minute; un filet d'eau arrose constamment les couteaux afin d'empêcher l'échauffement et l'adhérence.

Cette machine à découper a subi de nombreuses variantes; dans celle décrite par M. Wünschendorf, et reproduite par M. Pellissier, on a augmenté le nombre des couteaux et diminué leur longueur.

La figure 4 est une section longitudinale de la machine au travers de laquelle on passe la gutta-percha, après l'avoir plongée dans un vase plein d'eau chaude, jusqu'à ce qu'elle soit ramollie et qu'elle devienne souple et flexible.

C'est une grande pile ou bassin divisé en trois compartiments, dont les deux premiers sont remplis d'eau à un niveau plus élevé que le dernier. *b b' b''* sont trois dérompoirs ou rouleaux en bois armés de lames de scie qui y sont insérées dans une direction parallèle à leur axe, comme dans les râpes à betteraves.

Ces rouleaux sont montés transversalement sur la pile et roulent sans toucher le liquide. En avant de chacun de ces dérompoirs il y a une paire de cylindres cannelés alimentaires.

a est un guide en forme d'entonnoir par lequel la gutta préalablement coupée en tranches et ramollie, comme nous l'avons dit plus haut, est amenée à passer entre les cylindres alimentaires du premier dérompoir *b; t* est une toile sans fin inclinée, qui tourne sur deux rouleaux et plonge dans l'eau par sa partie inférieure, tandis que sa partie supérieure arrive au niveau du point de pincement des cylindres alimentaires du second dérompoir *b'*; *t'* est une seconde toile sans fin qui remplit les mêmes fonctions vis-à-vis du troisième dérompoir *b''*.

d est un cylindre affineur à lames radiales et semblable à ceux dont on fait usage dans les fabriques de papier pour convertir les chiffons en pulpe. Ce cylindre est monté transversalement sur le troisième compartiment de la pile, mais à une élévation moindre que les dérompoirs; la moitié de son diamètre est constamment immergée dans l'eau du compartiment; il tourne en regard d'une platine disposée de telle sorte que les lames du cylindre *d*, pendant leur mouvement de rotation, viennent en contact immédiat avec les languettes de la platine, de manière à produire par leur rencontre mutuelle une action semblable à celle des ciseaux sur les matières qui viennent se placer entre ces pièces.

Le cylindre affineur *d*, de même que les dérompoirs *b b' b''*, a une toile sans fin *t''* et une paire de cylindres alimentaires. *a* est un agitateur entièrement immergé dans le troisième compartiment, *s* une toile fine s'étendant obliquement jusqu'au fond de la pile et partageant ce compartiment en deux subdivisions; *c c' c''*... une série de paires de rouleaux montés transversalement au-dessus des compartiments à une hauteur telle que les rouleaux inférieurs tournent dans l'eau et les supérieurs en l'air; une série de tables ou

bancs placés entre les couples de rouleaux servent à soutenir la feuille de gutta-percha pendant son trajet d'une paire de rouleaux à la suivante.

Le jeu du mécanisme est le suivant :

Les cylindres alimentaires, les rouleaux qui font marcher les toiles sans fin et les rouleaux *c c' c'* tournent tous de la gauche à la droite de la machine, tandis que les dérompoirs *b b' b''*, le cylindre affineur et l'agitateur *a* tournent dans une direction contraire. Les commandes et les dispositions mécaniques propres à communiquer ces mouvements ont été omises dans la figure, parce qu'elles ne présentent rien qui ne soit bien connu.

Les dérompoirs et le cylindre affineur font 600 à 800 tours par minute; les cylindres d'alimentation et les tambours des toiles sans fin n'en font que 100 à 175. Les premières séries de cylindres *c c'* font 15 à 20 tours par minute; les suivantes vont un peu plus vite, afin de produire un étirage ou étendage sur la feuille de gutta qui passe entre les rouleaux.

A mesure que la gutta brute est amenée par les cylindres alimentaires sous l'action du premier dérompoir, elle est rompue ou brisée en petits morceaux et débarrassée d'une quantité considérable de terre et de substances étrangères, le tout tombant dans la masse d'eau au-dessous, c'est-à-dire celle du premier compartiment de la pile. Là, les matières s'assortissent d'elles-mêmes d'après leur poids spécifique, les fragments d'écorce et de bois imprégnés d'eau pendant le ramollissement à l'eau chaude tombent au fond, ainsi que les graviers, le sable et les matières terreuses, tandis que les morceaux

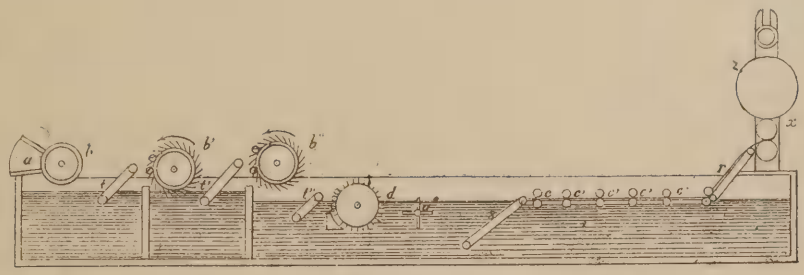


Fig. 4. — Pile pour l'épuration de la gutta.

de gutta pure montent et flottent à la surface de l'eau. La toile sans fin *t* les attire à elle en tournant, les charrie et les amène entre les rouleaux alimentaires du second dérompoir, qui les livrent à celui-ci pour y subir de nouveau une opération semblable à celle qui vient d'être décrite, afin de les réduire en fragments plus petits et de les amener ainsi à un plus grand état de purification. En flottant à la surface de l'eau du deuxième compartiment, la gutta-percha est transportée par la toile sans fin *t'* aux cylindres alimentaires du troisième dérompoir *b''*, placé sur le troisième compartiment, où elle est brisée et rompue une troisième fois pour la débarrasser enfin de toutes les impuretés qu'elle peut encore renfermer.

C'est alors que la toile sans fin *t''* s'en empare et la transporte aux cylindres alimentaires qui la présentent au cylindre affineur *d*, lequel, au moyen des lames dont il est armé et de la platine sur laquelle il tourne, la découpe et la hache en une multitude de brins très déliés qui, à mesure qu'ils tombent dans l'eau du compartiment, sont projetés en avant dans la direction de l'agitateur *a'*. Or, comme cet agitateur tourne dans une direction opposée à celle dans laquelle est projetée la masse de gutta-percha, il force cette matière à plonger dans l'eau et à prendre une route circulaire autour de lui vers la grande toile sans fin *s*, où elle arrive débarrassée de toute la boue qu'elle a pu garder à la suite de toutes les autres opérations.

La gutta-percha ainsi lavée est ensuite transportée en avant par la toile sans fin *s* à la série de rouleaux *c c'*, et en quittant la dernière paire elle est enlevée par une dernière toile sans fin *r* pour être livrée à un système de deux cylindres presseurs et finisseurs en métal *x*, ajustés au moyen de vis à une distance l'un de l'autre égale à l'épaisseur de la feuille qu'on désire obtenir.

Après avoir passé entre les cylindres *x*, la feuille de gutta-percha purifiée est ramenée sur

le cylindre supérieur, puis sur le tambour *z*, afin de pouvoir s'enrouler sur l'ensouple placée immédiatement au-dessus.

L'eau, dans tous les compartiments, est employée froide. Lorsque la gutta-percha brute a une odeur fétide, comme c'est le cas pour les guttas inférieures et surtout les sortes blanches, on mélange à l'eau de la pile une solution de soude ordinaire ou de chlorure de chaux.

Ce mode de purification de la gutta-percha, basé sur la pesanteur spécifique différente des matières hétérogènes, ne débarrasse pas entièrement le produit de toutes ses impuretés. Les matières pierreuses, terreuses se précipitent nécessairement au fond des auges, mais ce ne sont pas ces matières qui altèrent le plus souvent la pureté de la gutta-percha. Ce qu'on y

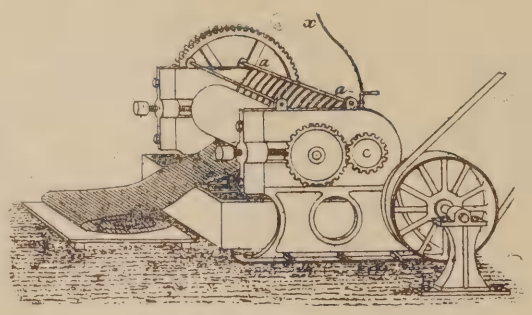


Fig. 5. — Déchiqueteur.

rencontre en plus grande abondance, ce sont des parcelles de bois noir plus ou moins pourri.

Dans la première opération, qui consiste à ramollir les tranches de gutta par l'eau chaude, la densité de ces fragments ligneux est bien augmentée par absorption d'eau, et dans le premier compartiment, les morceaux les plus volumineux vont au fond, mais les plus menus restent en suspension dans l'eau, et une partie est conduite au deuxième dérompoir, puis au troisième.

Dans cette partie de l'opération, le volume des impuretés n'est pas beaucoup affecté par l'action des dérompoirs qui déchiquètent la gutta, mais ne pulvérisent pas les fragments ligneux; les plus gros tombent donc au fond de l'eau, et la gutta qui arrive au cylindre affineur ne contient plus que les impuretés qui lui sont restées adhérentes et celles très ténues dont elle s'est chargée à son passage dans l'eau trouble des bacs.

Le cylindre affineur transforme toutes ces impuretés en fragments excessivement ténus; une partie en est prise par l'eau, qui se trouble de plus en plus; l'autre reste dans la gutta, mais le volume de ces matières étrangères est tellement réduit qu'il ne peut produire des défauts lors de la fabrication du fil. Le seul inconvénient donc que présente la gutta obtenue par cette méthode est d'être moins isolante que si elle était purifiée à fond, mais cet inconvénient est loin d'en être un pour les fabricants de qui on exige des fils présentant l'isolement le plus faible possible pour une épaisseur donnée.

Procédé de la râpe.

La râpe est un appareil que représente le premier compartiment de la pile que nous venons de décrire. Un entonnoir placé au-devant de deux cylindres alimentaires sert à l'introduction de la gutta. Devant les cylindres alimentaires tourne, à raison de 4 à 500 tours par minute, un cylindre en bois armé de lames de scie implantées comme nous l'avons vu pour les dérompoirs. Cet ensemble est monté sur un bassin rempli d'eau froide où tombe la gutta quand elle a été déchirée par les dents de la râpe; un agitateur ramène la gutta qui flotte vers la partie découverte du bassin, où un ouvrier, armé d'une pelle en fil de fer faisant fonction d'écumoire, enlève la gutta qui surnage et la met dans un bac voisin.

Avant d'être livrée à la râpe, la gutta est préalablement coupée au couteau, puis agitée pendant une heure environ dans l'eau bouillante, où elle abandonne ses plus grosses impuretés. On la laisse un peu au repos, puis on la découpe, au moyen d'un couteau, en blocs ayant environ 15 à 20 centimètres de côté et 10 d'épaisseur qu'on saisit avec une fourche à dents plates pour les porter dans l'entonnoir de la râpe. Là un ouvrier debout sur le bassin pousse le bloc avec un morceau de bois pour l'engager entre les cylindres alimentaires de la râpe.

Il faut cinq à sept passages à la râpe pour nettoyer la gutta aussi bien que peut le faire cet appareil, c'est-à-dire d'une façon très insuffisante et à tel point que sans nettoyage complémentaire la gutta obtenue est impropre à la fabrication du fil isolé.

Les opérations complémentaires auxquelles

on a recours sont l'emploi du filtre et du truman. Nous en parlerons dans un instant.

D'après les renseignements fournis à M. Pellissier par le directeur des usines Rattier, le tambour des râpes de cet établissement serait métallique, creux et chauffé à la vapeur. Nous ne comprenons pas la raison de cette modification.

Procédé des cylindres déchiqueteurs.

Dans ce procédé, on nettoie la gutta au moyen du même appareil qui sert au nettoyage du caoutchouc, les cylindres déchiqueteurs.

Le déchiqueteur (fig. 5) se compose d'une paire de cylindres massifs de fonte disposés comme ceux des laminoirs ordinaires, mais l'un à côté de l'autre, parallèlement, et pouvant être rapprochés ou écartés à volonté au moyen de vis de rappel. Ces cylindres tournent avec des vitesses inégales, l'un faisant un tour entier par minute, tandis que l'autre en fait trois pendant le même temps. En outre, un tuyau horizontal criblé de trous comme une pomme d'arrosoir, et en communication avec la distribution générale d'eau froide ou un réservoir supérieur d'eau tiède, fait tomber sans interruption dans l'intervalle des cylindres, pendant le travail, une pluie fine d'eau propre. Les cylindres ont habituellement 0,30 m. de diamètre et 0,65 m. de longueur. Ils sont lisses ou finement cannelés, à cannelures longitudinales ou hélicoïdes, sans qu'on soit encore bien fixé sur le type qui répond le mieux aux *desiderata*. Tous font de bon travail quand on sait s'en servir, mais nous ne savons pas lequel fait le meilleur.

Au-dessous des cylindres, et pour recueillir les eaux et ce qu'elles entraînent, est disposé un bac en tôle divisé en deux compartiments par une toile métallique horizontale, ou mieux une claie en osier descendant à environ moitié de la profondeur du bac. Une ouverture de trop plein est disposée à environ trois quarts de la hauteur du bac à partir du fond, et cette ouverture est obturée par une toile métallique pour empêcher la gutta en petits fragments de s'échapper au dehors avec l'eau superflue. De la sorte, la toile métallique ou la claie est noyée dans la partie supérieure de l'eau du bac, celle qui est la plus propre, et elle empêche la gutta qui vient d'être laminée par les cylindres d'aller au fond de l'eau reprendre les impuretés qui s'y sont déposées, de même que pendant les manipulations de la feuille de gutta, la partie supérieure seule de l'eau, c'est-à-dire la plus propre, est agitée, et que le dépôt des grosses impuretés s'effectue mieux dans le double fond où l'agitation est moins marquée.

Voici comment on procède au nettoyage.

Les pains de gutta sont comme toujours débités en tranches au couteau, et celles-ci plongées dans l'eau plus ou moins chaude, suivant les qualités de la gutta. Certaines espèces se travaillent mieux aux environs de 70-80° qu'à 100°, la Balata entre autres.

La cuisson dure une heure ou deux, et pendant ce temps on divise la masse avec une fourche en fer, afin que les plus grosses impuretés se séparent et se rendent au fond. Il faut que l'agitation soit le plus possible localisée à la surface pour ne pas voir les impuretés du fond venir de nouveau s'incorporer dans la gutta. Pour la même raison, le chauffage par serpentin est préférable à celui par barbotage.

Après avoir été ramollie par la chaleur et débarrassée de quelques impuretés, la gutta est livrée aux cylindres, que l'on a serrés de telle sorte que leur écartement soit d'environ 2 millimètres. On conçoit ce qui se passe alors. D'une part elle est violemment étirée par le cylindre, qui marche avec le plus de vitesse. D'autre part, en passant entre les deux cylindres elle subit une espèce de laminage. De ce double mouvement résultent des déchirures qui permettent à l'eau d'entraîner les corps étrangers même les plus ténus.

On reprend dans l'eau du bac la feuille de gutta laminée et on la refait passer plusieurs fois entre les cylindres aussi longtemps que la gutta est encore assez chaude pour se former en feuille au laminage. Sous cette forme, la gutta présente l'aspect d'une espèce de toile, une lame mince couverte d'aspérités qui lui donnent l'aspect d'une peau de chagrin percée d'un nombre infini de petits trous.

Dans certaines usines, on passe la gutta au déchiqueteur serré à fond ; dans d'autres on fait le lavage à l'eau tiède. Les feuilles ridées (comme on les nomme) provenant d'une première opération, sont de nouveau réchauffées dans l'eau chaude ou bouillante comme on avait fait pour la gutta brute ; le brassage est moins

nécessaire, les impuretés étant maintenant trop ténues et trop tenaces pour être éliminées en grande quantité par un moyen aussi imparfait. On répète le passage au déchiqueteur de la même façon que la première fois, et on continue ainsi à réchauffer les feuilles ridées, puis à repasser la gutta ramollie au déchiqueteur jusqu'à ce que le produit soit propre. Il faut quelquefois renouveler l'opération vingt ou trente fois avant d'avoir un produit assez propre pour être employé à la fabrication des fils isolés.

Lorsqu'on doit terminer l'opération du nettoyage par l'emploi du filtre ou du filtre suivi du truman, on se contente de cinq ou six passes au déchiqueteur.

Certains fabricants font les premières passes avec un déchiqueteur à grosses cannelures ou à grosses dents. On évite ainsi de pulvériser les impuretés qui se détachent facilement, comme on le ferait avec un déchiqueteur à cylindres lisses, qui doivent être assez serrés si on veut que la gutta qu'on y dépose soit entraînée et laminée.

Le nettoyage aux cylindres seuls est imparfait, il laisse environ 3 à 4 o/o d'impuretés quand il est poussé à son plus haut degré de perfection. On peut arriver à ce que ces impuretés soient assez ténues pour ne pas occasionner de défauts lors de la fabrication du fil isolé, c'est-à-dire à ce que leur plus grande dimension soit inférieure à 1/2 millimètre. Mais alors on peut encore ici faire la remarque que nous faisions à propos du procédé de la pile, c'est que la gutta est moins isolante que si elle était nettoyée à fond, ce dont les fabricants français sont loin de se plaindre, l'administration des Postes et Télégraphes étant à juste raison ennemie des isolements trop élevés.

Filtres.

Un complément absolument indispensable de tout nettoyage est la filtration. En effet, il peut arriver que malgré tous les soins apportés au nettoyage quelques grosses impuretés soient restées, et il en reste toujours; ou bien si on fait entrer dans les mélanges de la gutta ayant déjà servi, cette gutta contient des petits morceaux de fil de cuivre qui ne peuvent pas y rester sans inconvénient. Cette filtration de la gutta préalablement ramollie se fait au moyen du filtre dont on trouvera la figure dans l'ouvrage de M. Wünschendorff.

La force que développe cet appareil est assez minime : 20 tonnes seulement pour la surface du piston, qui est à peu près de 1200 centimètres carrés, soit environ 16 kilogrammes par centimètre carré. Aussi ne peut-on faire passer la gutta à travers des toiles métalliques ayant des mailles de moins d'un millimètre de côté. Or, comme l'épaisseur des couches de gutta-percha

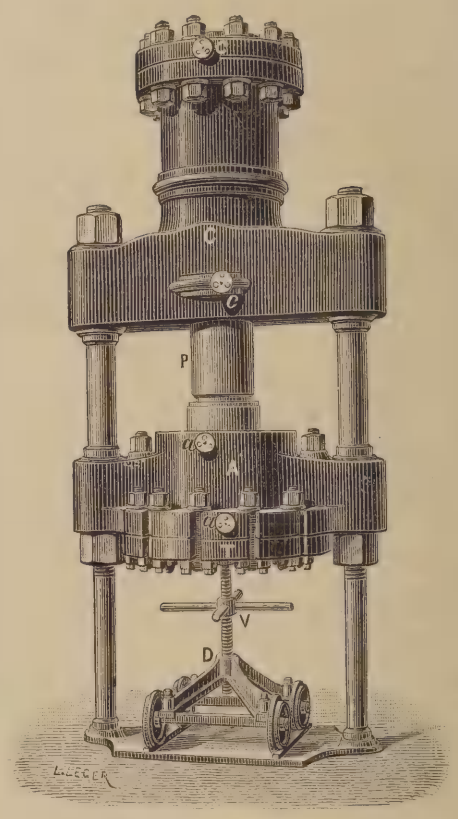


Fig. 6 — Filtre à gutta.

qu'on applique pendant la fabrication du fil isolé varie de 5 à 8/10 de millimètre, on voit que des impuretés capables d'occuper l'épaisseur entière d'une couche peuvent fort bien échapper à la filtration.

Des impuretés de dimensions supérieures à l'épaisseur de la couche peuvent aussi passer, et c'est bien plus grave encore; ces fragments ne pouvant s'échapper à la sortie par l'espace qui sépare le fil de la filière obstruent celle-ci; il s'ensuit alors un manque de gutta sur toute la génératrice qui correspond à l'obstacle, et cela

jusqu'à ce que l'ouvrier qui conduit la machine s'en soit aperçu et ait délogé l'ordure, au prix d'un défaut d'isolement qu'on repère pour le réparer plus tard.

Cet appareil est donc tout à fait insuffisant. Quand on nettoyait la gutta au truman, il avait sa raison d'être, car si avec le truman on enlève aussi complètement qu'il est possible les petites impuretés, on laisse souvent les plus grosses, d'où l'utilité d'une filtration préliminaire; mais aujourd'hui que la tendance à supprimer le truman est devenue une réalité, il faut avoir recours à des appareils plus puissants permettant d'employer des toiles plus fines pour la filtration; c'est un de ces appareils que nous allons décrire (fig. 6).

L'organe essentiel de l'appareil est un corps de pompe à double enveloppe A chauffé à la vapeur; la partie inférieure est pourvue de brides pour le serrage des boulons. Deux tubulures *a a* servent à l'arrivée et à la sortie de la vapeur.

Dans ce corps de pompe se meut à frottement métallique, sans garniture d'aucune sorte, un piston plongeur P actionné par un corps de pompe C dans lequel on fait arriver par les tubulures *c c* de l'eau comprimée par des pompes qui ne sont pas représentées. Le fond du corps de pompe à double enveloppe est mobile et pourvu de boulons à charnière; il se compose essentiellement d'une plateforme percée de trous sur laquelle on pose la toile métallique destinée à la filtration de la gutta. Son centre est disposé en forme de crapaudine pour recevoir le pivot de la vis V, qui elle-même tourne dans un écrou ménagé dans le chariot D, lequel sert au transport de cette partie mobile de l'appareil.

Voici la manœuvre de la filtration : On relève le piston pour le dégager du corps de pompe A, On place sur le plateau T une toile métallique appropriée et on l'amène en regard de la partie inférieure de A; on manœuvre la vis V pour amener les deux surfaces au contact. On relève les boulons à charnière et on les serre à fond. On dévisse la vis V pour la dégager de la crapaudine; on enlève le chariot qui glisse sur des rails, et on le remplace par un récipient destiné à recevoir la gutta filtrée.

On charge l'appareil avec de la gutta préalablement ramollie à l'eau bouillante.

Il n'y a plus qu'à comprimer l'eau dans le cylindre C au moyen des pompes, et la gutta passe à travers la toile métallique en abandonnant ses impuretés dans le cylindre A.

La charge de l'appareil est d'environ 60 kilogrammes, et la filtration dure environ un quart d'heure quand la toile métallique a des mailles de 2/10 de millimètre de côté.

La force de l'appareil est de 120 tonnes, ce qui donne par centimètre carré 100 kilogrammes au lieu de 16 qu'on avait avec l'ancien filtre, car la surface du piston est exactement la même.

Avec cet appareil on peut ne pas pousser si loin le nettoyage au déchiqueteur, et dans cette opération ne pas serrer les cylindres à fond. Comme on peut enlever toutes les impuretés dont les dimensions dépassent 2/10 de millimètre, on peut être sûr de ne pas en laisser de gênantes pour le travail; il est donc inutile d'augmenter par des passages répétés au déchiqueteur trop serré le nombre de celles qu'on ne peut pas enlever, c'est-à-dire celles de dimensions inférieures à 2/10 de millimètre. Dans ce cas, pour ne pas encrasser trop la toile en faisant passer d'emblée la gutta encore assez sale par la toile la plus fine, on fait l'opération en deux fois, en employant pour la première une toile à mailles de 8/10 de millimètre.

Dr Léon Brasse.

(*A suivre*).

DÉTAILS DE CONSTRUCTION

DES MACHINES DYNAMO [1]

Les inducteurs de l'alternateur *Siemens, Nebel et Colling*, représentés par les figures 1 à 4, sont constitués par deux plateaux A A, portant chacun deux rangées de pièces polaires B et C, à pôles E et F, les unes extérieures et les autres intérieures aux enroulements D, et disposées de façon que les pôles E et F, opposés de part et d'autre de l'armature à disque, soient de noms contraires. La forme des bobines de l'armature est indiquée en P.

La construction des inducteurs de cette ma-

[1] *La Lumière Electrique* du 10 décembre 1892, p. 518.

chine est donc des plus simples, accessible et parfaitement ventilée.

On voit en figures 3 et 4 comment on peut faire venir les épanouissements polaires de fonte ou de forge avec les plateaux A.

Le collecteur de la dynamo *Cowan* est (fig. 5) à quatre balais : deux balais ordinaires B B, qui recueillent les courants continus, et deux balais auxiliaires *a a* qui recueillent sur les collecteurs *c c* des courants alternatifs de force électromotrice moyenne d'autant plus petite que les vis *s* les relient à des barreaux plus rapprochés. On obtient aussi deux courants : un courant continu B B et des courants alternatifs *c c*, de force électromotrice moyenne inférieure à celle des courants B B. Le premier courant peut servir à charger des accumulateurs, et les autres à alimenter directement des lampes à incandescence.

La principale particularité de la dynamo *Reignier et Parrot*, représentée par les figures 6 à 9, consiste dans l'emploi pour le disque de l'armature de lamelles bimétalliques en cuivre et fer, constituées chacune par une bande de fer doux enveloppée complètement d'une couche de cuivre galvanique.

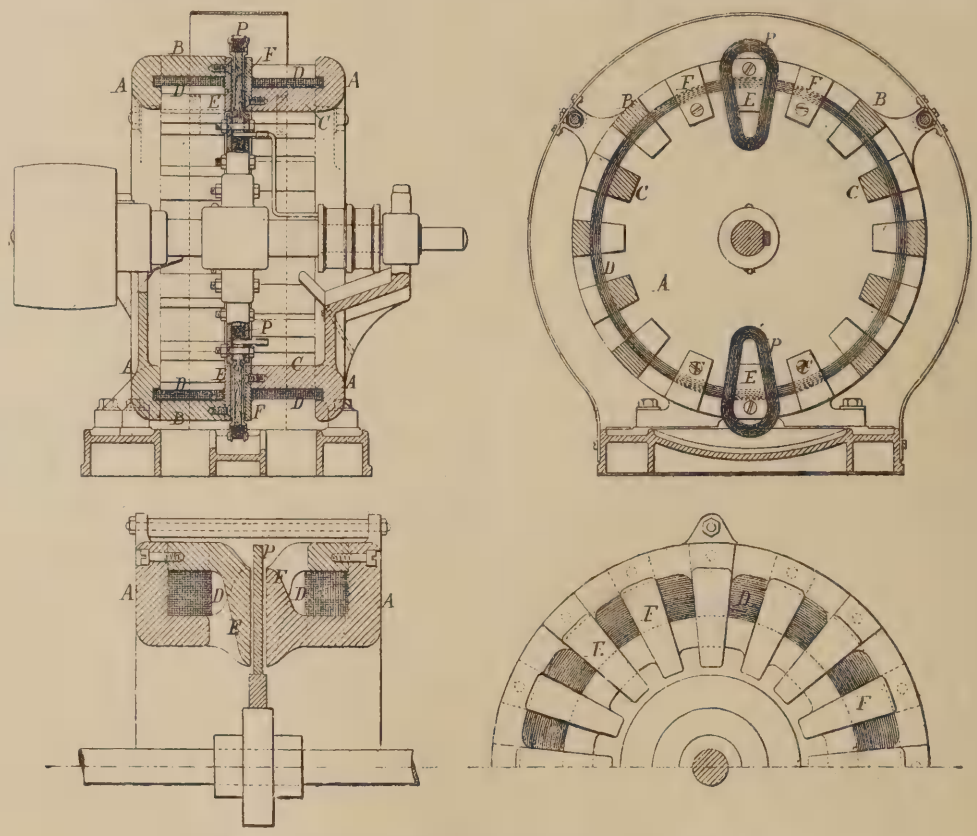


Fig. 1 à 4. — Alternateur Siemens, Nebel et Colling (1892).

Voici comment les inventeurs mêmes justifient l'emploi de cette armature bimétallique, dont l'idée première a d'ailleurs été revendiquée par *M. Desroziers* (1).

« L'énergie électrique d'une machine dynamo peut s'exprimer par

$$W = 2 H s N \nu \Omega \delta,$$

où H est la valeur moyenne de l'induction magnétique maxima que subit une quelconque des spires induites, d'aire *s*, dans une révolution ;

N, le nombre de champs magnétiques, alternativement positifs et négatifs, qu'une spire rencontre dans une révolution ;

ν, le nombre de révolutions par seconde ;

Ω, la section totale des conducteurs induits ;

δ, la densité de courant.

(1) *Génie Civil*, 6 août 1892, p. 222.

« Les facteurs N, s, v, δ sont indépendants de H.

« Si H et Ω étaient également des quantités indépendantes, il suffirait de donner à H une valeur limite et d'augmenter continuellement Ω pour accroître l'énergie disponible.

« Mais il n'en est pas ainsi : l'induction magnétique dépend de la longueur d'air (occupée dans les machines actuelles par les conducteurs induits), que les lignes d'induction magnétique traversent.

« Les expériences de M. Leduc (1) et les recherches de feu Cabanellas (2) ont montré que l'induction magnétique mesurée dans l'air varie

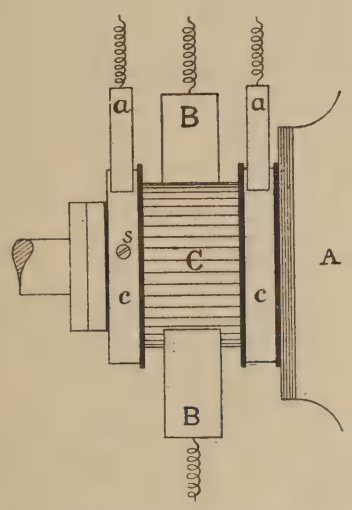


Fig. 5 — Collecteur multiple Cowan (1892).

sensiblement en raison inverse de la longueur d'onde des lignes d'induction dans l'air.

« Or Ω est proportionnelle à cette longueur d'air, qu'on a désignée *entrefer*; par suite, les termes H et Ω varient en raison inverse, et W demeure constant.

« Si l'on substitue aux conducteurs de cuivre ordinairement employés des lamelles minces, composées, en parties de leur épaisseur, d'un métal très magnétique et d'un métal très bon conducteur, placées de façon que les lignes d'induction soient perpendiculaires à leur épaisseur, le flux d'induction émanant du pôle nord se divisera en plusieurs nappes de filets parallèles très rapprochées l'une de l'autre et traversant seulement la portion magnétique des conducteurs bimétalliques.

« Plus on augmente la hauteur des conducteurs induits, plus le flux d'induction magnétique tend à passer intégralement dans les portions magnétiques des lamelles. En d'autres termes, l'induction magnétique est constante le long de l'axe magnétique, et ce tube de force, enveloppe du circuit induit, est cylindrique.

« L'énergie disponible dans un tel dispositif augmentera donc d'une manière sensiblement proportionnelle à la hauteur des conducteurs.

« Nous avons construit un appareil basé sur ce principe ; à la vitesse de 500 tours nous avons obtenu 32 000 watts. Le poids total est de 750 kilogrammes, ce qui fait une utilisation spécifique de 42 watts environ par kilogramme de machine.

« Notre machine rappelle le disque de Faraday qu'on aurait fractionné de façon à diriger les courants induits qui y prennent naissance. Afin d'utiliser tout l'espace compris dans la couronne circulaire soumise à l'induction, les circuits sont formés par des arcs de développantes de cercle.

« L'enroulement est ainsi formé : on constitue deux disques de hauteur quelconque au moyen d'un certain nombre de plaques bimétalliques cintrées suivant un ou plusieurs arcs de développante. On les superpose, et l'on réunit les extrémités intérieures et extérieures de manière à former un circuit fermé par la liaison d'une plaque du premier disque avec une plaque du second disque (1). »

Ceci posé, voici comment MM. Reignier et Parrot ont réalisé leur idée.

Dans une armature Gramme sans épaisseur courbons (fig. 6) sur la face antérieure chacune des parties radiales ab de l'enroulement suivant un triangle curviligne $a\ b\ c$ en développantes, de manière que tous ces triangles se touchent sans laisser aucun vide entre leurs côtés, qui recouvrent ainsi totalement la face antérieure du disque de l'armature, puis faisons de même pour la face postérieure, mais en prenant soin que les sommets des triangles y soient, comme l'indique le tracé pointillé, symétriques de ceux de la face antérieure par rapport au plan radial $a\ b$. On aura ainsi remplacé les spires de l'enroule-

(1) A. Leduc, thèse de doctorat; Paris, 1888.

(2) Ch. Reignier, *La Lumière Electrique*, janvier 1889.

(1) *Comptes rendus*, 8 août 1892, p. 310.

ment Gramme par des quadrilatères curvilignes bimétalliques situés dans des plans perpendiculaires à ceux des hélices primitives de l'anneau Gramme. Chacun de ces quadrilatères sera formé d'une lame bimétallique g_2 (fig. 7) fendue de façon à constituer deux lamelles $g\ g$ que l'on recourbe (fig. 8) l'une à droite, l'autre à gauche, avec leurs extrémités g_3 à peu près dans le prolongement de g_2. Les lames bimétalliques ainsi disposées et séparées par des lames isolantes constituent une armature plate d'une épaisseur égale à la largeur de g_2 (fig. 7^a).

Ce disque, consolidé par une frette en fils d'acier isolée f (fig. 9), enroulée sur une couronne de bronze segmentée et montée sur un moyeu h, tourne entre les pôles $a\ a$ des inducteurs $b\ b$, montés sur les châssis $c\ c$.

Sous une autre forme, l'emploi des conducteurs bimétalliques rend l'induction magnétique H pratiquement indépendante de la section w

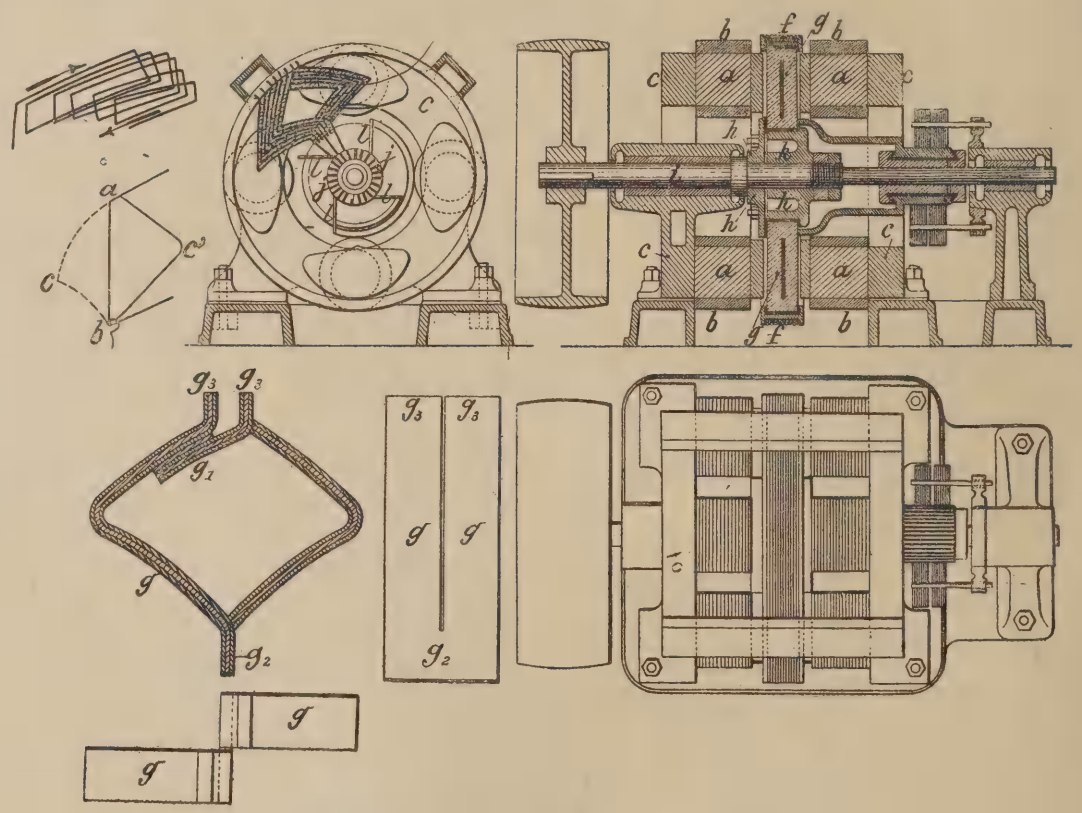


Fig. 6 à 9. — Dynamo Reignier et Parrot (1892).

de ces conducteurs, et ce principe peut évidemment s'appliquer à toutes les formes d'armatures. Mais l'armature à disque présente l'avantage de supprimer l'écran magnétique lamellaire en fer doux, qui se trouve ici remplacé par le fer sous cuivre des lamelles, dont la masse doit être calculée de manière qu'il soit toujours magnétisé à saturation. En outre, comme, d'après l'expérience des inventeurs, l'induction magnétique serait à peu près indépendante de l'épaisseur du disque, et constante dans toute l'étendue du champ, on pourrait, sans affecter notablement le champ magnétique, donner au disque une grande épaisseur, tout en évitant presque complètement les courants parasites de Foucault, etc...

MM. Reignier et Parrot ont construit une dynamo d'essai dont les principales particularités sont les suivantes :

Armature.

Nombre des bobines : 264, groupées par quatre en quantité.

Diamètre, 680 millimètres.

Aire d'une spire bimétallique moitié fer, moitié cuivre : 295 centimètres carrés.

Epaisseur de l'isolant entre les lamelles : 14 millimètres.

Inducteurs.

Nombre des pôles : 4.

Section de chaque électro-aimant : 120 centimètres carrés.

Poids total de la dynamo.....	750 kilogr.
— du bâti.....	150 —
Poids de l'inducteur et de l'armature....	600 kilogr.

Cette dynamo aurait, d'après les inventeurs, donné, à 500 tours, 40 volts et 800 ampères, soit

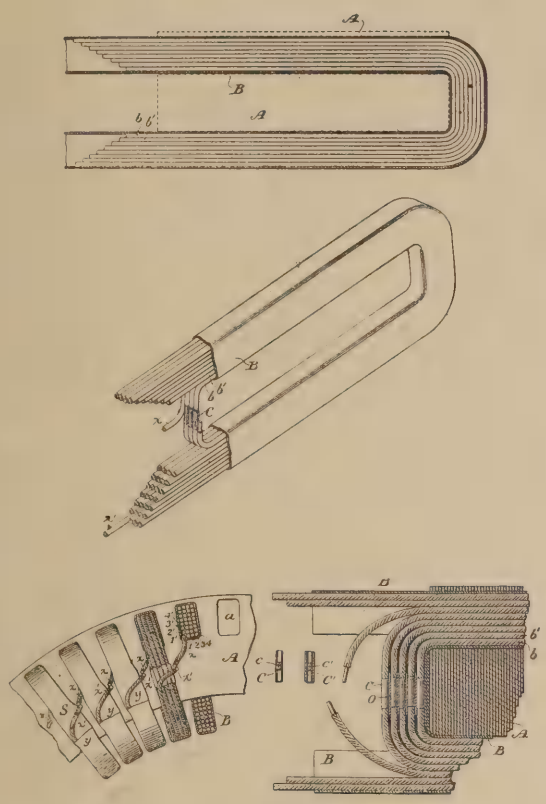


Fig. 10 à 13. — Bobinage Parcell (1892).

32 000 watts (à 200 ampères par lame), ou une utilisation de 42,5 watts par kilogramme du poids total de la dynamo, et de 53,3 watts par kilogramme du poids actif (600 kilogrammes), ce qui est une utilisation des plus remarquables ([4]).

On connaît les difficultés d'exécution que présente le bobinage des armatures dites cuirassées, dans lesquelles une partie de chacun des enroulements est entièrement enveloppée par le fer de l'anneau, comme en *a* (fig. 12).

M. L. Parcell a récemment proposé de remédier à ces inconvénients au moyen de la

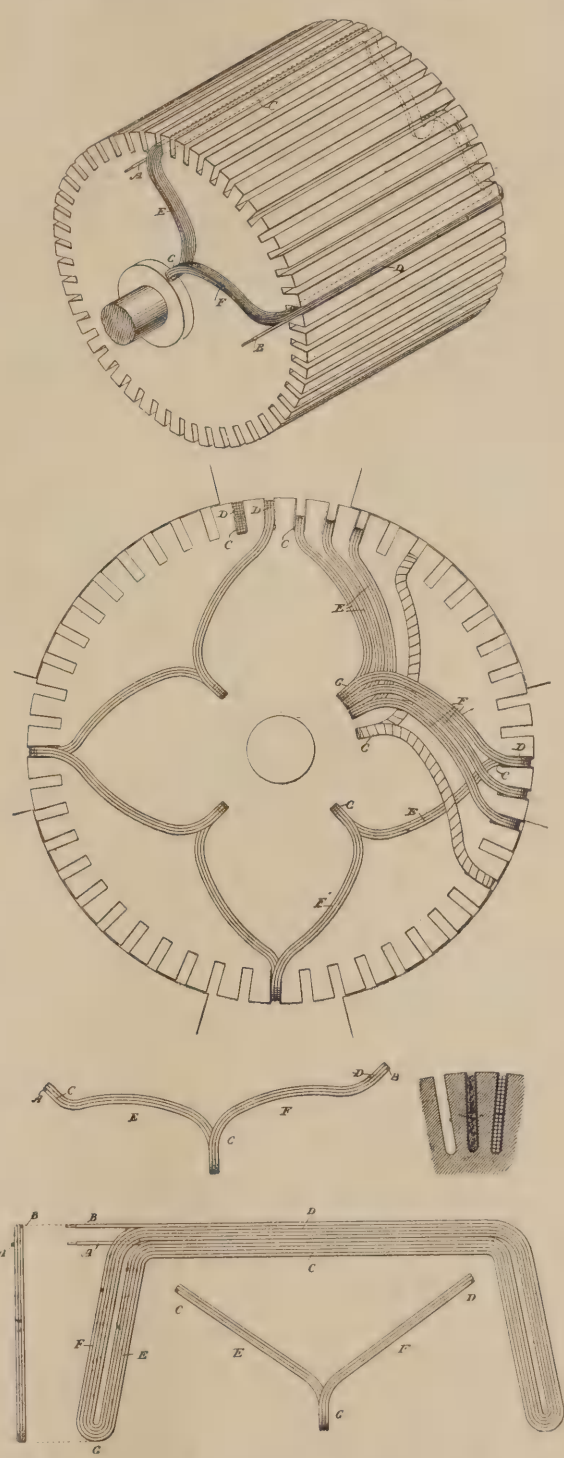


Fig. 14 à 18 — Enroulement Bradley (1892).

méthode de bobinage représentée par les figures 10 à 13.

([4]) *Génie civil*, 30 juillet 1892.

Dans cette méthode, on commence par disposer les différentes couches de l'enroulement *b b'*... comme en figure 10, puis on les enveloppe, sauf aux extrémités, d'un isolant B, dont on passe l'une des branches dans l'ouverture correspondante *a* de l'anneau. On rabat ensuite, puis on relie entre elles, en C, toutes les extrémités des fils *b*, sauf la dernière *x*, que l'on relie à la première extrémité libre de la couche *b'*; et ainsi de suite, jusqu'à la dernière couche extérieure, dont le bout libre *a'* se raccorde au correspondant de la bobine suivante. Les jonctions C peuvent se faire en enfermant les bouts dénudés des fils dans une douille de mica ou de cuivre recouvert d'un isolant, et en les y réunissant par la fusion d'un grain de soudure *c'* (fig. 12).

Il est incontestable que le procédé de M. Parcell simplifie l'exécution mécanique du bobinage, mais en y introduisant, par les raccords C, une complication électrique qui n'est peut-être pas négligeable.

M. Bradley a, de son côté, notablement simplifié le bobinage des armatures à tambour crénelé du type représenté par les figures 14 à 18.

Partant du point A, par exemple, chacun des enroulements se constitue de la façon suivante: on dispose d'abord cet enroulement à plat, comme l'indique la figure 18, en deux cours

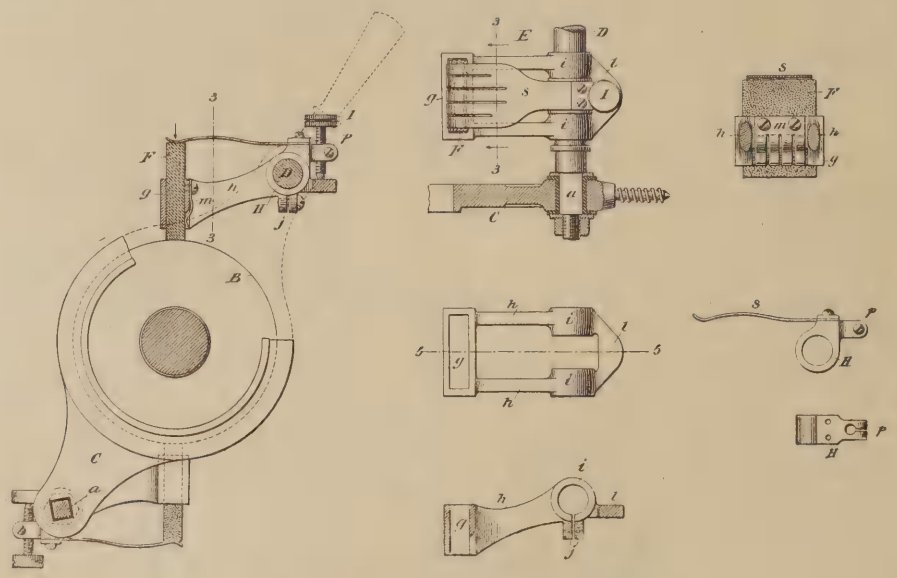


Fig 19 à 25. — Balais Wood (1892).

D F, C E, avec fils d'entrée A' et de sortie B; puis on écarte C de D et E de F, comme en figure 18, et l'on donne, également sur gabarit, à ces branches, la forme indiquée en figure 16. Lorsqu'on dispose ensuite ces enroulements sur le tambour, comme en figure 14, chacune des crénelures du tambour recevra à sa partie inférieure la partie C d'une bobine, et à sa partie supérieure, recouvrant C, mais isolée d'elle (fig. 15 et 17), la partie F de la bobine, écartée, au cas particulier de la figure 14 (machine à quatre tôles), de 90° de la première.

On voit que l'on évite entièrement, par le procédé de M. Bradley, le croisement des fils sur les fonds du tambour; les fils y restent presque constamment parallèles pendant toute l'étendue de leur contact, sans aucun danger de détériorer leurs isolants; en outre, le remplacement d'une bobine par une autre toute prête s'opère très facilement.

Les balais en charbon de *M. J. Wood*, représentés par les figures 19 à 25, sont remarquables par la simplicité et la précision de leur montage. Les charbons F, serrés dans leurs glissières *g* par des ressorts *m*, sont appuyés sur le collecteur B par des ressorts *s* (fig. 20 et 24) avec une pression réglée par la vis I qui fait écrou dans le talon *p* de la monture H (fig. 25). Les axes porte-balais D sont fortement maintenus par leurs carrelets *a* dans les montants C, et les bras *h h* de la glissière *g* sont fixés sur les axes D par le serrage à vis *j* de leurs larges portées *i i*.

Le régulateur de *Mac Elroy* a pour objet de maintenir constante l'intensité du courant d'une dynamo à potentiel constant, dont il fait varier, suivant la dépense du circuit extérieur, le nombre des enroulements inducteurs en activité.

Cette variation s'opère au moyen d'un disque régulateur H (fig. 26) (1 à 6) fixé au double rochet J, et pourvu d'un secteur isolant K (fig. 6). Le courant excitateur dérivé arrive de l'armature A au centre du disque H par le fil F (fig. 1) et le ressort de contact G' (fig. 3 et 5); puis il

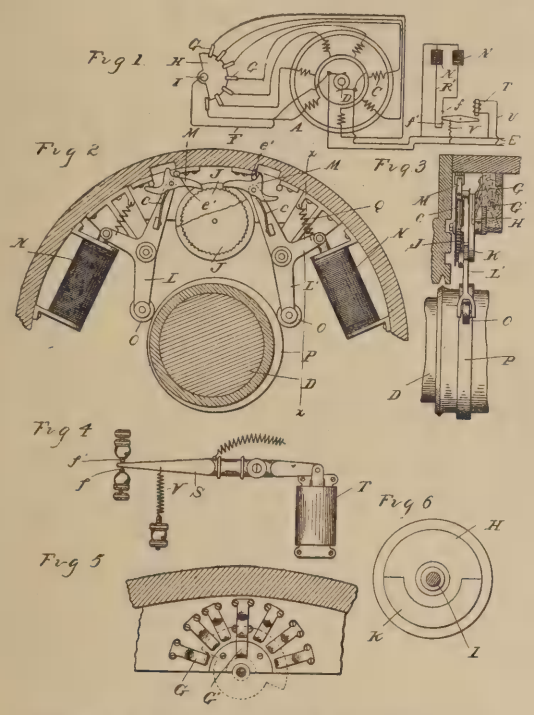


Fig. 26 (1 à 6). — Régulateur Mac Elroy (1892)

passe par H à autant de bobines qu'il y a de ressorts régulateurs G en contact de H. On voit donc qu'il suffit de faire commander H ou son rochet J en fonction de l'intensité du circuit intérieur E pour assurer la régularisation. Cette commande s'opère comme il suit par les deux cliquets M M.

En temps ordinaire, quand l'intensité est à sa valeur normale, le levier S (fig. 1 et 4), soumis à l'attraction de l'électro-aimant régulateur T, dérivé sur E, et à l'action antagoniste du ressort V reste en équilibre entre ses deux contacts *f* et *f'* : aucun courant ne passe dans les électros N N, et leurs deux leviers L et L' sont maintenus pour leurs ressorts Q dans la position indiquée pour le levier L', et telle que la butée *e'* dégage complètemeni son cliquet M du rochet correspondant, de sorte que la roue J est immobile.

Mais, si l'intensité augmente au contraire en E et en U T, le levier S fait contact en *f'*, mettant en circuit l'électro-aimant N de gauche, qui appuie le galet O de son levier L sur la came C de l'arbre D de l'armature, en même temps que le ressort *e* de son cliquet M, dégagé de sa butée *e'*, appuie ce cliquet sur son rochet J. Il en résulte que la came P fait, à chaque tour de la dynamo, avancer la roue J et le disque H d'une dent dans un sens tel qu'il sépare du cir-

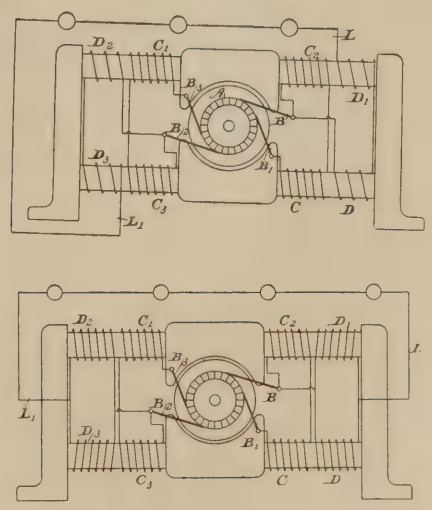


Fig. 27 et 28. — Régularisation Elkins (1892).

cuit des ressorts G, en amenant sous eux des arcs de plus en plus étendus de l'isolant K, jusqu'à ce que cette diminution des ampères-tours inducteurs ait ramené l'intensité à sa valeur normale, et le levier S à sa position d'équilibre intermédiaire entre les contacts *f* et *f'*.

Si l'intensité diminue, c'est le ressort V qui l'emporte, et l'électro N de droite qui fonctionne et fait tourner I en sens inverse de la rotation précédente, de manière à augmenter la puissance des inducteurs jusqu'à ce que l'intensité ait repris sa valeur normale.

Afin de maintenir l'intensité constante malgré les variations de la résistance du circuit extérieur, *M. W.-H. Elkins*, de la compagnie Thomson-Houston, emploie (fig. 27 et 28) deux paires de balais B, B_2 et B_1, B_3. Les balais B, B_2 sont reliés d'une part par les enroulements induc-

teurs principaux D, D_1, D_2, D_3, au circuit extérieur L L', et, de l'autre, par les inducteurs auxiliaires ou compensateurs C, C_2, C_1, C_3, aux balais auxiliaires B_1, B_3. En outre, les deux paires de balais sont disposées sur le commutateur de façon que le potentiel de B_1 B_3 soit beaucoup plus élevé qu'en B B_2.

En marche normale, les ampères-tours des deux inducteurs sont égaux, et le plan de commutation de l'armature coïncide à peu près avec B_1 B_3. Quand la résistance du circuit extérieur diminue, ce plan se décale de manière que l'intensité du courant augmente en B B_2 et diminue en B_1 B_3, ce qui diminue l'induction totale, et ramène l'intensité du courant extérieur à sa valeur normale. L'inverse a lieu quand la résistance du circuit extérieur augmente : le recul du plan de commutation augmente l'intensité du courant en B_1, B_3, ainsi que celle du champ magnétique, de manière à maintenir l'intensité du courant constante dans le circuit intérieur.

Afin d'éviter toute déformation du champ magnétique, il faut que chacun des bras des inducteurs ait un enroulement principal et un

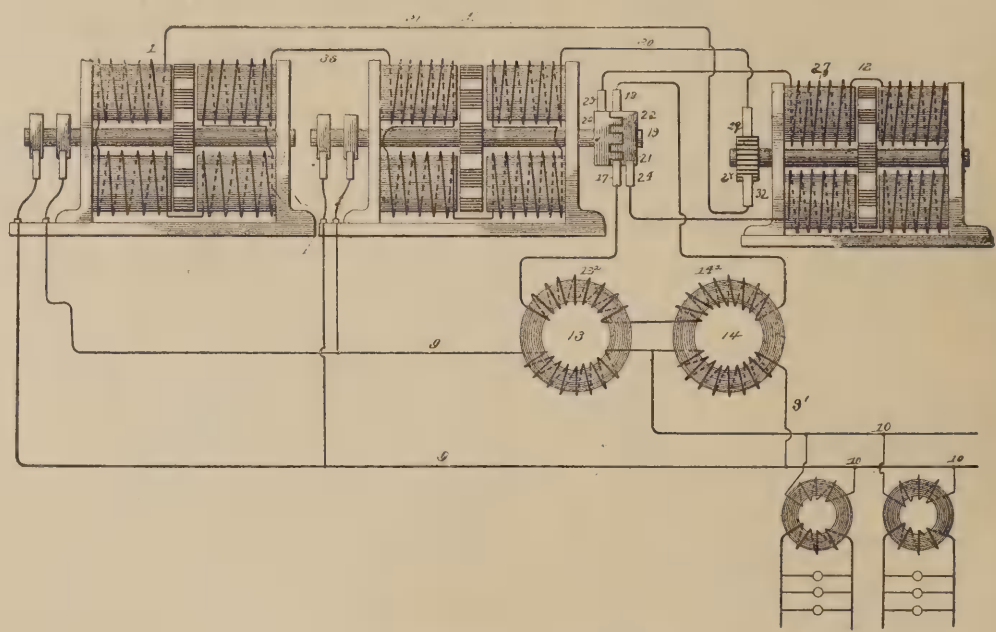


Fig. 29. — Distribution Pfanckuche.

enroulement régulateur; il y aura donc, dans le cas figuré, quatre enroulements principaux : D, D_1, D_2, D_3 : et quatre enroulements régulateurs, C, C_1, C_2, C_3; l'enroulement C étant en série avec C_2, et C_1 avec C_3, et D, D_1, D_2, D_3 en série, avec moitié moins de tours que les enroulements régulateurs, ou (fig. 28) en quantité, et avec le même nombre de tours.

La figure 29 représente schématiquement le dispositif général de la distribution par courants alternatifs de *M. Pfanckuche*, ingénieur de la compagnie Brush, et qui a pour objet la régularisation automatique des alternateurs alimentant un circuit de résistance variable.

Les deux transformateurs 13 et 14 ont leurs primaires excités directement par le branchement 9 9' du circuit extérieur de la génératrice 1, et leurs secondaires 13^3 14^2 aboutissent aux balais 17 et 18 du commutateur 19. Ce commutateur est formé de deux blocs 20 et 22, isolés l'un de l'autre, avec autant de dents que de bobines sur l'armature de 1. Le commutateur 28 de l'excitatrice 12 envoie des courants redressés au circuit inducteur 29, 30, 36, 31, 32 des génératrices en série 1 et 1', et les dents du commutateur 19 sont disposées de façon que l'un des balais 17 soit sur une dent du bloc 20, pendant que l'autre balai 18 est sur la dent opposée du bloc 22, et cela, au moment des maxima des courants alternatifs des génératrices. On voit ainsi que les courants alternatifs de basse tension induits par ceux des génératrices dans les secondaires 13^2 14^2 seront redres-

sés par le commutateur 19, qui les amène, par ses balais 23 et 24, aux inducteurs de l'excitatrice 12. Il faut, en outre, remarquer que si le transformateur 13 est traversé par la totalité du courant des génératrices, le second, 14, monté en dérivation 9', n'en reçoit qu'une partie variable.

Ceci posé, voici comment s'établit, avec ce dispositif, le réglage à potentiel constant.

Dès le départ simultané des génératrices et de l'excitatrice, leurs courants, bien que très faibles, induisent dans les secondaires 13^2 14^2 des courants assez intenses pour exciter vigoureusement les inducteurs 27, de sorte que la mise en train se fait très rapidement, et que les deux génératrices atteignent très vite leur débit maximum. Ce débit dépend des résistances de la ligne et du débit de l'excitatrice 12, lequel est fonction des débits des transformateurs 13 et 14, proportionnels, l'un à celui des génératrices et l'autre, 14, à la différence des potentiels aux bornes des génératrices, ou aux résistances de la ligne 99. Si l'on augmente le nombre des circuits 10 10, dérivés sur cette ligne, l'intensité augmente dans cette ligne et en 13^a; mais, comme le potentiel baisse, l'intensité diminue corrélativement en 14, assez peu, néanmoins, pour que la somme des intensités envoyées par 13^2 et 14^2 à l'excitatrice augmente, et communique aux génératrices le supplément d'excitation nécessaire pour rétablir sur la ligne le potentiel normal, malgré l'augmentation du débit. L'inverse a lieu si la résistance de la ligne, augmente, diminuant l'intensité en 13 et l'augmentant en 14, mais pas assez pour empêcher la somme des intensités excitatrices de tomber suffisamment pour abaisser le potentiel des génératrices à sa valeur normale, malgré la diminution du débit.

Le rhéostat régulateur de *Houghton et White* est (fig. 30), remarquable par sa simplicité; quand la résistance de la ligne sur laquelle est intercalé ce rhéostat est forte, l'intensité du courant qui traverse le solénoïde *s* est faible, et l'armature K, repoussée par le ressort *k*, occupe la position indiquée, où le courant admis par W traverse, avant de sortir par W', le solénoïde *s*, la plaque P, puis une partie seulement du fil d'argentan V, dont presque toute la longueur est aplatie sur le disque V. Au contraire, lorsque la résistance du circuit extérieur diminue, et que l'intensité y augmente, ainsi qu'en *s*, l'armature K remonte, en dégageant V de P, et en introduisant ainsi dans le circuit des résistances croissantes jusqu'à ce que l'intensité y ait repris sa valeur normale. Ce rhéostat ne paraît guère pouvoir servir qu'avec des courants de faible tension, en raison de l'incertitude des contacts du fil V sur la plaque P.

Dans une distribution par courants polyphasés desservant des abonnés qui emploient simultanément des lampes et des moteurs, il faut, en général, retrancher ou allumer les lampes au

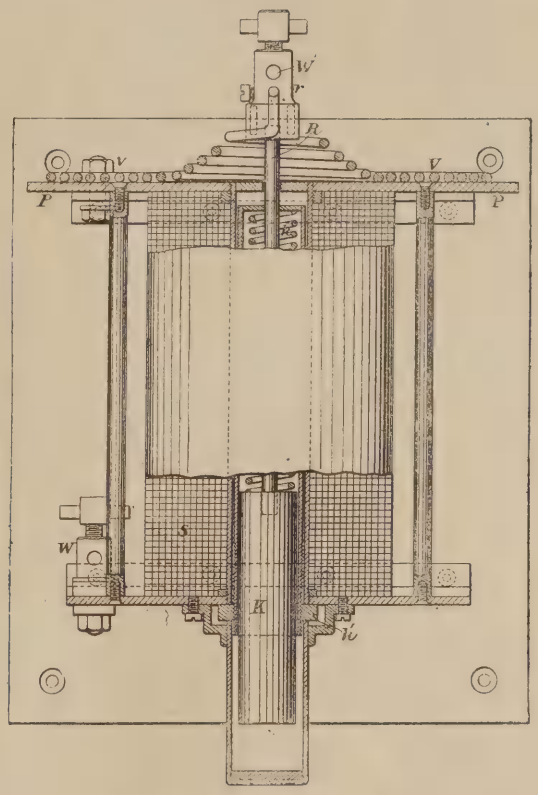


Fig. 30. — Régulateur Houghton et White (1892).

moins trois par trois, si l'on tient à une marche régulière; le dispositif récemment proposé par la maison *Siemens et Halske* et représenté par les figures 31 et 32, a pour objet d'éviter cette obligation en maintenant la charge des différents conducteurs d'une distribution polyphasée sensiblement constante, indépendamment, entre certaines limites, du nombre des lampes alimentées par chacun de ces conducteurs.

Voici le principe de cette régularisation. Comme la somme algébrique des courants d'un système polyphasé ou rotatoire, à champ tournant, est constamment nulle, il s'ensuit que, si l'on enroule autour d'un anneau de fer autant de

bobines égales et de même sens qu'il y a de conducteurs dans ce circuit, la magnétisation moyenne de l'anneau sera constamment nulle, tant que la marche des courants sera normale dans tous les conducteurs du circuit, c'est-à-dire, tant que ces courants y conserveront leurs allures et leurs décalages prévus; mais, aussitôt qu'il se produit un changement dans l'amplitude, ou dans le décalage relatif d'un ou de plusieurs de ces courants, l'anneau se magnétise et induit, à la manière des transformateurs, dans les autres enroulements, des forces électromagnétiques secondaires, qui s'ajoutent à celles qui s'y développaient auparavant, et qui tendent à ramener tous les courants aux états primitifs d'égales amplitudes et de décalages égaux.

Par exemple, pour le cas d'un circuit triphasé

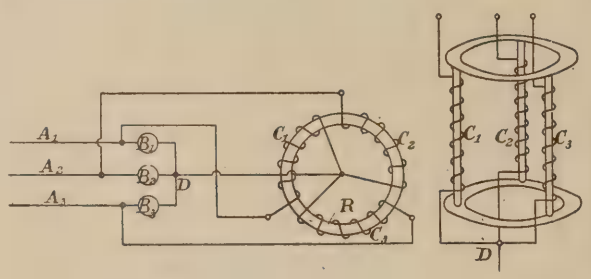


Fig. 31 et 32. — Distribution polyphasée Siemens et Halske (1892).

A_1 A_2 A_3 (fig. 31) desservant les trois services B_1 B_2 B_3, chacun des trois conducteurs A_1 A_2 A_3 se divise en deux branches allant l'une au service correspondant et l'autre à l'enroulement égalisateur corrélatif c_1 c_2 c_3 de l'anneau R lesquelles se réunissent en D aux fils de sortie des trois services B_1 B_2 B_3.

On peut, comme l'indique la figure 32, enrouler les bobines C_1 C_2 C_3 sur des colonnes réunissant deux anneaux D D, ou sur des noyaux de transformateurs.

Le transformateur compensateur de M. *Elihu-Thomson* consiste (fig. 33) (1 à 4) en un noyau de fils doux *x*, entouré du fil primaire P, puis du secondaire S, en forme d'un gros conducteur hélicoïdal à spires séparées par des isolants *i i*, le tout monté sur un axe X et mû par un électromoteur M, alimenté par le circuit extérieur L L, et dont le torque augmente avec la charge ou l'intensité de ce circuit. Le primaire P de ce transformateur est alimenté, de *p p*, par les balais *b c*, et son secondaire S est relié au moteur M et au circuit L par le balais J et par le galet R, mobile sur B en suivant les hélices de S. Enfin, le torque du moteur est antagonisté par un poids *w*, dont le treuil D est tel que le moment de D *w* augmente avec le torque de M. Quand la charge de L augmente, le transformateur tourne de manière à avancer R vers la gauche, et à augmenter la longueur du secondaire J en jeu, et à rétablir ainsi la force électromotrice en L : l'inverse a lieu pour une diminution de la charge de L.

La figure 33 (4) indique comment on peut adapter cet appareil à la régularisation d'un transfor-

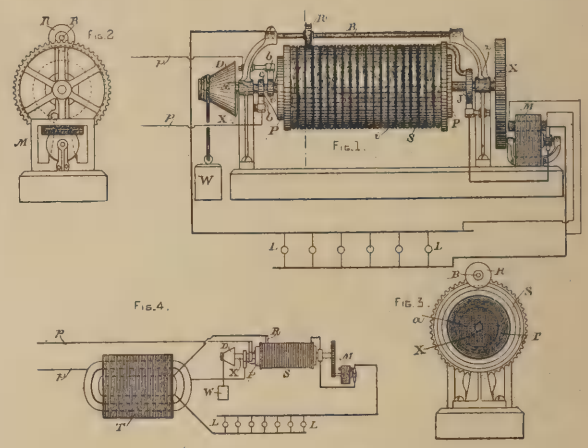


Fig 33 (1 à 4). — Transformateur compensateur E. Thomson (1892).

mateur ordinaire T, dont le primaire est, par *p p*, en série avec celui du régulateur P, et le secondaire T en série avec S, de sorte que le régulateur agit comme un autovariateur du secondaire de T en fonction de la charge de L.

DÉTAILS DE CONSTRUCTION DES MACHINES DYNAMO DÉCRITS DANS MES ARTICLES DE 1891 ET 1892 (1)

Anderson. 31 janvier 1891, p. 210; 5 nov. 1892, 264. Alcock, 26 sept, 1891, 607. Atkinson, 7 mai 1892, 218.

Bailey et Stevenson, 2 mai 1891, 219. Ball, 20 juin 1891, 564. Bassett, 10 déc. 1892. 167. Bary, 2 mai 1891, 220. Baxter, 26 mars 1892, 607. Bradley, 23 janv. 1892, 167. Brain et Arnot, 23 janv. 1892, 167. Boucherot, 6 août 1892, 274; Burt, 7 mai 1892, 263.

Callendar, 2 juillet 1892, 14. Cazal, 6 août 1892, 268. Clarke, 25 juil. 1891, 207. Cleaver, 15 avril 1891, 170. Cherry, 10 déc. 1892, 522. Conly, 23 janv. 1892, 165. Coerper, 5 mars,

(1) Pour les articles antérieurs, voir la note au bas de la page 203 du numéro du 31 janvier 1891.

5 nov. 1892, 468, 267. Crompton, 23 janv. 1892, 163. Crookher-Wheeler, 26 sept., 14 nov. 1891, 603, 309. Crompton et Friske, 2 mai 1891, 23 janv., 5 mars 1892, 220, 163, 470. Cuénod-Sautter, 14 nov. 1891, 305. Currie, 2 mai 1891, 227. Cutler, 23 janv. 1892, 166, 168,

Daggett, 6 août 1892, 272. Davies, 31 janv., 19 déc 1891, 208, 561. Darley, 26 mars 1892, 609. Desroziers, 19 déc. 1891, 562. Dobrowolsky, 31 janv., 15 avril, 20 juin, 26 sept., 19 déc. 1891, 212, 169, 565, 605, 564. Dorman, 2 juil. 1892, 18.

Easton, 31 janv. 1891, 207. Edison, 30 avril 1892, 217-218. Edmunds, 19 déc. 1892, 91, 568; 6 oct. 1892, 275. Eickemeyer, 2 juil., 1er oct., 10 déc. 1892, 15, 17, 519. Elkins, 30 avril, 2 juil., 1892, 217, 19. Ellis, 6 août 1892, 274. Emmott, et Rider, 2 mai 1891, 223. Evans, 5 nov. 1891, 266.

Ferranti, 19 mars, 23 et 30 avril, 6 août, 1er oct,, 10 déc. 1892, 558-560, 165, 210, 275, 16, 527. Foote, 31 janv. 1891, 209. Forber, 1er oct. 1892, 20,

Gaylord, 1er oct. 1892, 14. Gay et Hammond, Gilliland, 23 janv. 1892, 164; 5 nov. 1892, 268. Goolden et Atkinson, 1er oct. 1892, 19. Gravier, 2 juil. 1892, 17. Greenwood et Batley, 5 nov. 1892, 265.

Hall, 1er oct., 5 nov. 1892, 21, 262. Harper, 19 mars 1892, 559. Hartnell, 6 août, 10 déc. 1892, 268, 524. Hathaway, 1er oct. 1892, 16. Heaviside, 7 mai 1892, 267. Holmes, 20 juil., 19 déc. 1892, 564, 562. Hophinson, 31 janv. 1891, 209.

Immish, 20 juin 1891, 563.

Jarmann, 27 sept. 1891, 601. Jenney, 7 mai, 6 août 1892, 267, 270.

Kalb, 2 mai 1891, 219 Kapp, 15 avril 1891, 166, 170. Kennedy, 14 fév., 15 avril 1891, 306, 165; 7 mai 1892, 268. Kingdson, 2 mai 1891, 225; 5 mars 1892, 467. Koedding et Verstrate, 6 août 1892, 270. Kolben, 5 nov. 1892, 266.

Labour, 7 mai 1892, 270. Lahmayer, 5 et 19 mars, 2 juil. 1892, 465, 559, 21, 276. Lankert, 14 nov. 1891, 314. Leblanc, 7 fév. 1891, 275; 23 janv. 1892, 168. Linders, 5 mars 1892, Lundell, 27 juil. 1892, 17.

Mac Laughlin, 19 déc. 1891, 563. Mailloux, 6 août 1892, 275. Meyrowitz, 2 mai 1891, 322. Morday, 14 nov. 1891, 312; 2 juil. 1892, 12.

Nebel, 29 juin 1891, 562; 5 mars 1892, 466. Newton et Hawkins, 23 janv. 1892, 163.

Ott et Kenelly, 1er oct. 1892, 17.

Parker et Rees, 14 nov. 1891, 311. Parcelle, 25 juil. 1891, 165. Parshall, 5 nov. 1892, 266. Paterson et Furnaux, 10 déc. 1892, 522. Pfannkuche, 26 mars, 5 nov. 1892, 607, 265. Philpott, 2 juil. 1892, 21. Preschlin, 2 juil. 1892, 22. Potescksko, 19 mars 1892, 562. Pyke et Harris, 19 mars, 7 mai, 5 nov. 1892, 358, 267, 268.

Radcliffe, 2 mai 1891, 223. Reignier, 15 avrll 1891, 163. Renshaw, 31 janv. 1891, 208.

Sahulka, 19 déc. 1891, 563. Sayers, 10 déc 1892, 521. Sechehaye, 20 juin 1891, 565. Schuckert, 31 janv. 1891, 211. Scribner, 10 déc. 1892, 523. Shallemberger, 1er oct. 1892, 29. Sherrin, 15 avril 1891, 168. Short, 2 juil , 6 août 1892, 15, 268. Siemens et Halske, 3 janv., 15 avril, 2 mai, 20 juin, 26 sept., 14 nov., 19 déc. 1891, 205, 171, 225, 564, 696, 310, 571; 5 mars, 7 mai, 2 juil., 6 août, 1er oct. 1892, 470, 270, 21, 268, 21. Sistine et Scott, 18 déc. 1891. 567. Southall, 25 juil. 1891, 159. Sperry, 6 août, 1er oct. 1892, 16. Stanley et Shallemberger, 25 juil 1891, 161. Stanley et Kelly, 26 sept. 1891, 606; 1er oct. 1892, 20. Stone, 7 mai 1892, 265. Sutcliff et Atkinson, 5 mars 1892, 469. Swinburne, 2 mai 1891, 226.

Tesla, 14 nov. 1891, 310. Thomson (E.), 7 fév., 15 avril, 14 nov. 1891, 274, 166, 308; 26 mars, 6 août, 10 déc. 1892, 605, 269-273, 523 Thury, 19 nov 1891, 307. Tomlinson, 25 juil. 1891, 162.

Vinicombe, 2 mai 1891, 219

Wadley, 26 sept. 1891, 602. Wahlstrom, 26 sept. 1891, 603; 10 déc 1892, 525 Warren, 10 déc. 1892, 520. Westinghouse, 31 janv., 7 fév., 2 mai 1891, 207, 269, 224. Wigtmann, 1er oct 1892, 18. Willans, 25 juil., 19 déc. 1891, 160, 572. Williamson, 14 nov. 1891. 314. Wood, 7 fév. 1891, 270; 1er oct. 1892, 15. Wurst, 7 mai 1892, 260.

GUSTAVE RICHARD.

SELF-INDUCTION ET CAPACITÉ

MM. F. Bedell et A. Crehore viennent de publier un long mémoire sur la discussion des expressions générales du courant et de la charge dans un circuit contenant une résistance, self-induction et capacité, la force électromotrice agissant sur ce circuit étant quelconque.

Cette étude a pour point de départ une série d'articles parus dans l'*Electrical World* et traitant deux cas particuliers : celui d'un circuit contenant une résistance et une self-induction, et celui d'un circuit contenant une résistance et une capacité.

Notre intention est de résumer le travail de MM. Bedell et Crehore, travail qui présente surtout un intérêt théorique par la façon synthétique dont il est traité et aussi par certains points nouveaux développés par les auteurs.

Le problème a déja été étudié dans un grand nombre de cas isolés, pour la plupart très connus, mais à l'aide de solutions particulières; MM. Bedell et Crehore au contraire les déduisent de la solution générale qu'ils déterminent tout d'abord et en conservant même à la force électromotrice agissant dans le circuit toute sa généralité.

Cette solution générale trouvée, ils spécifient les différents cas qui peuvent se présenter suivant la nature de la force électromotrice, c'est-à-dire : force électromotrice nulle, constante, harmonique ou périodique quelconque, et ils les étudient séparément.

Les deux derniers cas, ou tout au moins l'avant-dernier, sont très connus en France, grâce aux

travaux importants de MM. Vaschy, Hutin et Leblanc et de M. Boucherot. Nous aurons du reste l'occasion d'y revenir.

Dans l'étude qui va suivre nous emploierons les symboles suivants :

R, résistance ;
L, coefficient constant de self-induction ;
C, capacité ;
E, force électromotrice constante ou maximum de la force électromotrice harmonique ;
e, valeur de la force électromotrice à chaque instant :
I, intensité constante du courant ou maximum de l'intensité d'un courant harmonique ;
i, valeur du courant à chaque instant ;
Q, charge constante du condensateur ;
q, valeur de la charge à chaque instant ;
ω, vitesse angulaire fictive $= \frac{2\pi}{T}$;
$+\theta$, angle d'avance ;
$-\theta$, angle de retard ;
T, période ou constante de temps ;
ε, base des logarithmes népériens ;
c, constante arbitraire d'intégration.

La signification de quelques autres symboles sera évidente.

Le point de départ est l'équation différentielle de l'énergie, équation bien connue à laquelle il suffit d'ajouter un simple terme concernant l'énergie absorbée par le condensateur et qui est évidemment $i \frac{\int i\,dt}{C}\,dt$.

Cette équation est donc :

$$e\,i\,dt = R\,i^2\,dt + Li\frac{di}{dt}dt + \frac{i\,dt\int i\,dt}{C}, \qquad (1)$$

et elle peut s'exprimer facilement en fonction de la charge à chaque instant.

On a en effet $dq = i\,dt$, d'où $i = \frac{dq}{dt}$, et par suite

$$e\frac{dq}{dt}dt = R\left(\frac{dq}{dt}\right)^2 dt + L\frac{d^2q}{dt^2}\frac{dq}{dt}dt + \frac{q}{C}\frac{dq}{dt}dt. \qquad (2)$$

Les termes des deux équations (1) et (2) se correspondent deux à deux et ont la même signification.

Si nous divisons ces deux équations respectivement par $i\,dt$ et $\frac{dq}{dt}\,dt$, nous aurons

$$e = Ri + L\frac{di}{dt} + \frac{\int i\,dt}{C}; \qquad (3)$$

$$e = R\frac{dq}{dt} + L\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{q}{C}. \qquad (4)$$

Ces équations peuvent encore se mettre sous une forme plus convenable pour la résolution. Différentions la première par rapport à t pour faire disparaître le signe $\int$, nous aurons :

$$\frac{d^2i}{dt^2} + \frac{R}{L}\frac{di}{dt} + \frac{i}{LC} = \frac{1}{L}\frac{de}{dt} = \frac{1}{L}f'(t), \qquad (5)$$

et de même (4) s'écrit immédiatement

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{R}{L}\frac{dq}{dt} + \frac{q}{LC} = \frac{e}{L} = \frac{1}{L}f(t), \qquad (6)$$

en posant $e = f(t)$, puisque e est en somme une fonction du temps.

L'équation (5) nous donnera la valeur du courant à chaque instant, et (6) la valeur de la charge du condensateur.

Solution générale.

Pour résoudre ces équations, il est très commode de se servir de la méthode symbolique. On pose pour cela, comme on a l'habitude de le faire pour la résolution des équations linéaires :

$$D = \frac{d[\,]}{dt}, \qquad D^2 = \frac{d^2[\,]}{dt^2};$$

de sorte que l'équation différentielle (5) peut se mettre symboliquement sous la forme

$$\left(D^2 + \frac{R}{L}D + \frac{1}{4e}\right)i = \frac{1}{L}f'(t),$$

ou

$$i = \frac{1}{L\left(D^2 + \frac{R}{L}D + \frac{1}{LC}\right)}f'(t). \qquad (7)$$

Résolvons l'opérateur inverse $\frac{1}{D^2 + \frac{R}{L}D + \frac{1}{4C}}$ en fractions partielles, nous avons l'identité

$$\frac{1}{D^2 + \frac{R}{L}D + \frac{1}{LC}} = \frac{LC}{\sqrt{R^2C^2 - 4LC}}\left(\frac{1}{D + \frac{1}{T_1}} - \frac{1}{D + \frac{1}{T_1}}\right) \qquad (8)$$

dans laquelle

$$\left.\begin{matrix} T_1 \\ T_2 \end{matrix}\right\} = \frac{2LC}{RC \pm \sqrt{R^2C^2 - 4LC}}, \qquad (9)$$

L'expression de i est donc

$$i = \frac{C}{\sqrt{R^2C^2 - 4LC}}\left(\frac{1}{D + \frac{1}{T_1}} f'(t) - \frac{1}{D + \frac{1}{T_2}} f'(t)\right), \qquad (10)$$

D'autre part l'équation linéaire ordinaire

$$\frac{dy}{dx} + ay = f(x),$$

mise sous la forme symbolique, est

$$(D + a)y = f(x);$$

d'où

$$y = \frac{1}{D + a} f(x). \qquad (11)$$

Et la solution en est :

$$y = \varepsilon^{-ax} \int \varepsilon^{ax} f(x)\, dx + c\,\varepsilon^{-ax}. \qquad (12)$$

De (11) et (12) nous tirons la valeur de $\frac{1}{D+a} f(x)$ et en y faisant $f(x) = f'(t)$, puis successivement $a = \frac{1}{T_1}$ et $a = \frac{1}{T_2}$, nous obtenons l'expression suivante pour i :

$$i = \frac{C}{\sqrt{R^2C^2 - 4LC}}\left[\varepsilon^{-\frac{t}{T_1}} \int \varepsilon^{\frac{t}{T_1}} f'(t)dt - \varepsilon^{-\frac{t}{T_2}} \int \varepsilon^{\frac{t}{T_2}} f'(t)dt\right] \qquad (13)$$
$$+ c_1 \varepsilon^{-\frac{t}{T_1}} + c_2 \varepsilon^{-\frac{t}{T_2}}.$$

Nous aurons pour q une expression analogue; il suffit de remplacer dans i, $f'(t)$ par $f(t)$.

$$q = \frac{C}{\sqrt{R^2C^2 - 4LC}}\left[\varepsilon^{-\frac{t}{T_1}} \int \varepsilon^{\frac{t}{T_1}} f(t)dt - \varepsilon^{-\frac{t}{T_2}} \int \varepsilon^{\frac{t}{T_2}} f(t)\, dt\right] \qquad (14)$$
$$+ c_3 \varepsilon^{-\frac{t}{T_1}} + c_4 \varepsilon^{-\frac{t}{T_2}}.$$

Forces électromotrices particulières.

Quatre cas peuvent se présenter, suivant la nature de la force électromotrice; ce sont :

$e = f(t) = 0$,
$e = f(t) = E = \text{constante}$,
$e = f(t) = E \sin \omega t$,
$e = f(t) = \Sigma E \sin(b\omega t + \theta) = E_1 \sin(b_1 \omega t + \theta_1) + E_2 \sin(b_2 \omega t + \theta_2 + \ldots$
E, b, θ

Quelques mots sont nécessaires, au moins dans les deux premiers cas, pour expliquer ce que signifient $e = 0$ et $e = E$.

Le premier cas signifie que la force électromotrice agissant sur le circuit est nulle à partir d'une certaine époque du temps. Ceci sera réalisé si l'on donne au condensateur une charge Q, puis si l'on supprime brusquement la force électromotrice. Celle-ci devient donc nulle à partir de l'instant de la suppression et satisfait bien à la condition $e = 0$.

Dans ce cas, si le circuit contient R et C, ou R, L et C, les équations générales donneront la valeur à chaque instant du courant de décharge, ainsi que celle de la charge restant sur le condensateur.

Si le circuit contient simplement R et L, on aura uniquement la valeur du courant à chaque instant.

La condition e = constante signifie que la force électromotrice est constante à partir d'un certain temps. Cette condition sera réalisée si cette force électromotrice passe brusquement d'une valeur constante à une autre, l'une d'elles pouvant être zéro. Dans ce cas, si le circuit contient R L et C ou R et C, les solutions donneront les valeurs du courant et de la charge du condensateur à partir du changement de la force électromotrice.

Si le circuit contient seulement R et L, nous aurons simplement la valeur du courant.

Nous examinerons ces quatre cas séparément.

Premier cas. — Suppression de la force électromotrice.

Valeurs du courant et de la décharge à chaque instant de la décharge.

Les expressions (13) et (14) deviennent, lorsque $f(t) = 0$:

$$i = c_1 \varepsilon^{-\frac{t}{T_1}} + c_2 \varepsilon^{-\frac{t}{T_2}}, \qquad (15)$$

$$q = c_3 \varepsilon^{-\frac{t}{T_1}} + c_4 \varepsilon^{-\frac{t}{T_2}}, \qquad (16)$$

et les équations (5) et (6) sont simplement :

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{R}{L}\frac{di}{dt} + \frac{i}{LC} = 0, \qquad (17)$$

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{R}{L}\frac{dq}{dt} + \frac{q}{LC} = 0. \qquad (18)$$

Les solutions de ces deux dernières équations donnent l'intégrale générale des équations (5) et (6) sans second membre (ce que les Anglais appellent la fonction complémentaire), intégrale à laquelle il suffit d'ajouter une intégrale particulière de l'équation avec second membre pour obtenir l'intégrale complète des équations (5) ou (6).

Le cas particulier de la décharge d'un condensateur dans un circuit possédant une résistance et une self-induction avait déjà été étudié en 1853, par sir W. Thomson et publié dans le *Phiolsophical Magazine.*

La résolution de l'équation (18) y était obtenue directement par la méthode bien connue et conduisait à la même solution, laquelle peut se mettre sous deux formes différentes, suivant que T_1 ou T_2 sont réels ou imaginaires.

Si nous remplaçons T_1 et T_2 par leurs valeurs, nous avons :

$$i = c_1 \varepsilon^{-\frac{RC - \sqrt{R^2C^2 - 4LC}}{2LC} t} + c_2 \varepsilon^{-\frac{RC + \sqrt{R^2C^2 - 4LC}}{2LC} t} \qquad (19)$$

Si l'on a $R^2 C > 4 L$, la valeur de i est réelle.

Si $R^2 C < 4 L$, cette valeur se présente sous forme imaginaire, mais nous savons qu'on peut la mettre facilement sous une forme réelle. Posons en effet

$$\theta = \frac{\sqrt{4LC - R^2C^2}}{2LC} t. ; \qquad (20)$$

nous aurons

$$i = \varepsilon^{-\frac{R}{2L} t} \left[c_1 \varepsilon^{j\theta} + c_2 \varepsilon^{-j\theta} \right] \qquad (j = \sqrt{-1}) \qquad (21)$$

Et en remarquant que

$$\varepsilon^{j\theta} = \cos\theta + j \sin\theta,$$

$$\varepsilon^{-j\theta} = \cos\theta - j \sin\theta,$$

il vient

$$i = \varepsilon^{-\frac{R}{2L} t} \left[(c_1 + c_2) \cos\theta + (c_1 - c_2) j \sin\theta \right].$$

Si c_1 et c_2 sont imaginaires conjugués nous pourrons poser

$$c_1 + c_2 = A,$$

$$c_2 - c_1 = j B,$$

où A et B sont réels, et nous aurons :

$$i = \varepsilon^{-\frac{R}{2L} t} \left[A \cos\theta + B \sin\theta \right],$$

ou encore

$$i = \sqrt{A^2 + B^2}\, \varepsilon^{-\frac{Rt}{2L}} \sin \left[\frac{\sqrt{4LC - R^2C^2}}{2LC} t + \Phi \right] \qquad (22)$$

en posant

$$\operatorname{tang} \Phi = \frac{A}{B}.$$

Les constantes d'intégration sont maintenant $\sqrt{A^2 + B^2}$ et Φ.

Si enfin $R^2 C = 4 L$, nous sommes dans le cas critique, et il est alors évident que les deux termes de (19) se réduisent à un seul, de même que les constantes c_1 et c_2, se fondent en une seule.

La solution complète, en tant qu'elle dérive d'une équation différentielle du second ordre, doit néanmoins contenir deux constantes arbitraires. Elle ne peut alors être obtenue à l'aide de l'expression (19), et le calcul intégral nous apprend que cette solution est alors de la forme

$$i = c_1 \varepsilon^{-\frac{Rt}{2L}} + c_2 t \varepsilon^{-\frac{Rt}{2L}}. \qquad (23)$$

On aurait des expressions identiques pour q.

Les constantes d'intégration sont déterminées par les conditions initiales.

L'origine du temps étant le moment où l'on supprime la force électromotrice qui a donné au condensateur une charge Q, nous aurons au début, c'est-à-dire si $t = 0$: $q = Q$ et $i = 0$; et pour $t = \infty$: $q = 0$ et $i = 0$.

1° $R^2 C > 4 L$. — *Décharge non oscillante.*

Déterminons les constantes dans les conditions que nous venons d'indiquer, et pour cela faisons $t = 0$, $q = Q$ et $i = 0$ dans (15) et (16); nous avons :

$$0 = c_1 + c_2 \quad \text{ou} \quad c_1 = -c_2$$

$$Q = c_3 + c_4.$$

D'autre part différentions l'équation (16) par rapport à t, et remarquons que $i = \frac{dq}{dt}$, nous aurons

$$i = -\frac{c_3}{T_1} \varepsilon^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{c_4}{T_2} \varepsilon^{-\frac{t}{T_2}}; \qquad (24)$$

d'où, par la comparaison de (15) et de (24),

$$c_1 = -\frac{c_3}{T_1} \quad \text{ou} \quad c_3 = -c_1 T_1$$

$$c_2 = -\frac{c_4}{T_2} \quad \text{ou} \quad c_4 = -c_2 T_2 = c_1 T_2$$

et par suite

$$Q = c_3 + c_4 = c_4 (T_2 - T_1);$$

d'où

$$\begin{aligned} c_1 &= \frac{Q}{T_2 - T_1} = \frac{Q}{\sqrt{R^2 C^2 - 4 L C}}, \\ c_2 &= \frac{Q}{T_1 - T_2} = -\frac{Q}{\sqrt{R^2 C^2 - 4 L C}}, \\ c_3 &= \frac{Q T_1}{T_1 - T_2} = -\frac{Q T_1}{\sqrt{R^2 C^2 - 4 L C}}, \\ c_4 &= \frac{Q T_2}{T_2 - T_1} = \frac{Q T_2}{\sqrt{R^2 C^2 - 4 L C}}, \end{aligned} \tag{25}$$

et définitivement pour les expressions de i et de q

$$i = \frac{Q}{\sqrt{R^2 C^2 - 4 L C}} \left[\varepsilon^{-\frac{t}{T_2}} - \varepsilon^{-\frac{t}{T_1}} \right]; \tag{26}$$

$$\begin{aligned} q = {} & \frac{Q}{2} \left[\frac{R C}{\sqrt{R^2 C^2 - 4 L C}} + 1 \right] \varepsilon^{-\frac{t}{T_1}} \\ & - \frac{Q}{2} \left[\frac{R C}{\sqrt{R^2 C^2 - 4 L C}} - 1 \right] \varepsilon^{-\frac{t}{T_2}}. \end{aligned} \tag{27}$$

Telles sont les expressions du courant et de

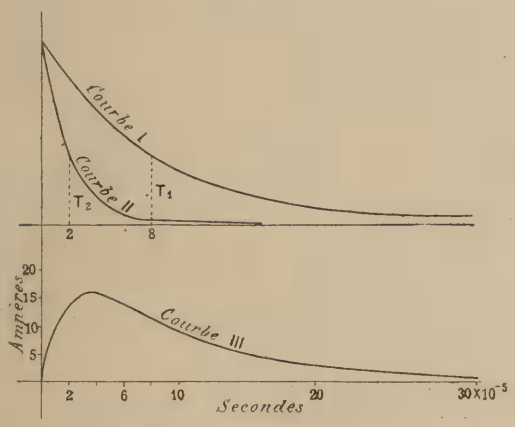


Fig 1. — Courbe représentative du courant pendant la décharge non oscillante d'un condensateur d'une capacité d'un microfarad dans un circuit ayant une résistance de 100 ω et une self-induction de 0,0016 q (la charge a été faite sous une différence de potentiel de 2000 volts).

la charge à un instant quelconque de la décharge. Elles montrent que si $R^2 C > 4 L$, la décharge va graduellement en décroissant sans oscillations. T_1 et T_2 étant positifs dans ce cas, i et q peuvent être représentés géométriquement par la différence de deux courbes logarithmitiques décroissantes.

Cette représentation est montrée sur les figures 1 et 2.

Les valeurs particulières des constantes sont :

$$R = 100^{\omega}, \qquad C = 1^{\mu}, \qquad L = 0{,}0016^{q}.$$

En calculant les valeurs de T_1 et T_2, on obtient 8×10^{-5} et 2×10^{-5}. En supposant le condensateur chargé à 2 000 volts, la charge est 0,002 coulomb : on a alors :

$$i = 33{,}33 \left[\varepsilon^{-\frac{t}{2} 10^5} - \varepsilon^{-\frac{t}{8} 10^5} \right]; \tag{28}$$

$$q = \frac{1}{10^3} \left[\frac{2}{3} + 1 \right] \varepsilon^{-\frac{t}{8} 10^5} - \frac{1}{10^3} \left[\frac{2}{3} - 1 \right] \varepsilon^{-\frac{t}{2} 10^5}; \tag{29}$$

i est exprimé en ampères et q en coulombs.

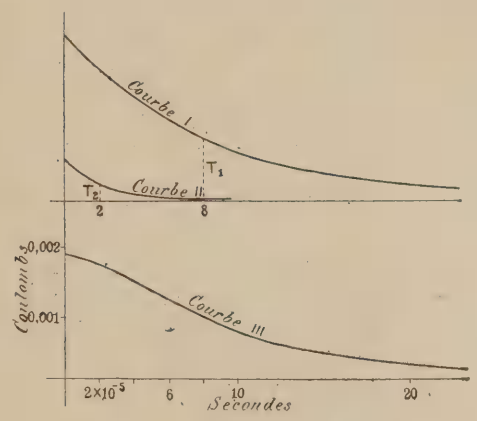


Fig. 2. — Courbe représentative de la charge pendant la décharge non oscillante d'un condensateur d'une capacité d'un microfarad dans un circuit ayant une résistance de 100 ω et une self-induction de 0,0016 q (la charge a été faite sous une différence de potentiel de 2000 volts).

Sur la figure 1, les courbes I et II représentent les deux termes de i, et III leur différence.

L'aire comprise entre III et l'axe des temps est $\int i \, dt = Q$, et par suite indépendante des constantes du circuit.

La courbe passe par un maximum pour une valeur du temps t_m qu'il est facile de déterminer. Il suffit d'égaler à zéro la dérivée de i, d'où

$$t_m = \frac{L C}{\sqrt{R^2 C^2 - 4 L C}} \log \frac{T_1}{T_2}. \tag{30}$$

Dans le cas actuel

$$t_m = 3{,}78 \times 10^{-5}.$$

Sur la figure 2 la disposition est la même.

On remarquera que la courbe I, correspondant à la plus grande constante de temps T_1, est de beaucoup la plus importante.

Cas d'un circuit contenant seulement une résistance et une self-induction. — Nous devons faire $C = \infty$. On a alors pour T_1 et T_2

$$T_1 = \infty, \qquad T_2 = \frac{L}{R}, \tag{31}$$

Et par suite

$$i = c_1 + c_2 \varepsilon^{-\frac{R}{L} t}, \tag{32}$$

La condition initiale est $i = I$ pour $t = 0$. Nous avons donc

$$i = I = c_1 + c_2.$$

La condition finale $t = \infty$, $i = 0$ donne

$$0 = c_1,$$

et par suite

$$i = I \varepsilon^{-\frac{R}{L}}, \tag{33}$$

résultat connu.

Décharge d'un condensateur dans une résistance. — Nous devons faire $L = 0$, T_1 et T_2 se présente alors sous une forme indéterminée, mais, cette détermination peut se lever facilement par la règle de Bernouilli, et l'on obtient :

$$T_1 = R C \qquad \text{et} \qquad T_2 = - R C.$$

Les expressions de i et de q sont alors d'après (15) et (16)

$$i = c_1 \varepsilon^{-\frac{t}{R C}} + c_2 \varepsilon^{+\frac{t}{R C}}, \tag{34}$$

$$q = c_3 \varepsilon^{-\frac{t}{R C}} + c_4 \varepsilon^{+\frac{t}{R C}}. \tag{35}$$

Les conditions du problème sont pour $t = 0$: $i = 0$, $q = R$; d'où

$$0 = c_1 + c_2, \qquad Q = c_3 + c_4,$$

et pour $t = \infty$: $i = 0$, $q = 0$; d'où

$$c_2 = 0, \qquad c_4 = 0.$$

D'autre part

$$i = \frac{dq}{dt} = - c_3 \frac{t}{R C} \varepsilon^{-\frac{t}{R C}}.$$

On en tire par la comparaison avec (34), où $c_2 = 0$,

$$c_1 = - \frac{c_3}{R C} = - \frac{Q}{R C}.$$

Les expressions de i et q sont donc dans ce cas :

$$i = - \frac{Q}{R C} \varepsilon^{-\frac{t}{R C}} = I \varepsilon^{-\frac{t}{R C}}, \tag{36}$$

$$q = Q \varepsilon^{-\frac{t}{R C}}.$$

Nous retrouvons donc les résultats bien connus.

2° $R^2 C < 4 L$. — *Décharge oscillante.*

Les équations sont, comme on se le rappelle :

$$i = A \varepsilon^{-\frac{R}{2 L} t} \sin \left[\frac{\sqrt{4 L C - R^2 C^2}}{2 L C} t + \Phi \right] \tag{37}$$

$$q = A' \varepsilon^{-\frac{R}{2 L} t} \sin \left[\frac{\sqrt{4 L C - R^2 C^2}}{2 L C} t + \Phi' \right] \tag{38}$$

Déterminons les constantes d'intégration : on a à l'origine pour $t = 0$, $i = 0$ et $q = Q$; d'où :

$$0 = A \sin \Phi, \tag{39}$$

$$Q = A' \sin \Phi'. \tag{40}$$

La condition finale $t = \infty$, $i = 0$, $q = 0$ ne donne rien.

La relation (39) ne peut évidemment conduire à $A = 0$; on aura donc :

$$\Phi = 0.$$

Si nous différentions les deux membres de l'équation (38), nous obtenons

$$i = \frac{dq}{dt} = - \frac{A' R}{2 L} \varepsilon^{-\frac{R}{2 L} t} \sin \left[\frac{\sqrt{4 L C - R^2 C^2}}{2 L C} t + \Phi' \right] \tag{41}$$

$$+ A' \varepsilon^{-\frac{R}{2 L} t} \frac{\sqrt{4 L C - R^2 C^2}}{2 L C} \sin \left[\frac{\sqrt{4 L C - R^2 C^2}}{2 L C} t + \Phi' \right]$$

Substituons $i = 0$, $t = 0$, il vient :

$$0 = - R \sin \Phi' + \frac{\sqrt{4 L C - R^2 C^2}}{C} \cos \Phi';$$

d'où

$$\operatorname{tang} \Phi' = \frac{\sqrt{4 L C - R^2 C^2}}{C}. \tag{42}$$

La valeur de A' tirée de (40) est :

$$A' = \frac{Q}{\sin \Phi'} = \frac{Q}{\sqrt{1 - \frac{R^2 C}{4 L}}}.$$

Pour avoir la valeur A, il suffit de transformer

la formule (41) en un seul sinus, et de la comparer ensuite à (37). On a ainsi

$$A = \frac{A'}{\sqrt{LC}} = \frac{2Q}{\sqrt{4LC - R^2C^2}}. \qquad (43)$$

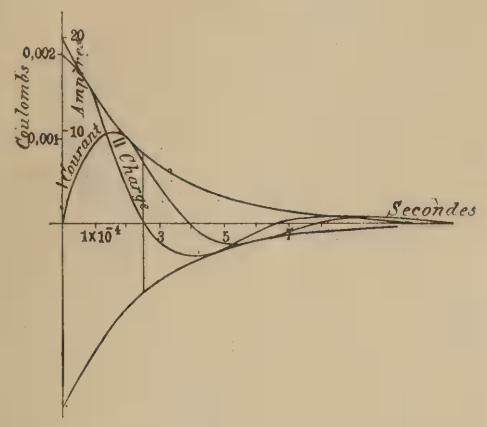


Fig. 3. — Courbe représentative de la décharge oscillante d'un condensateur d'une capacité d'un microfarad dans un circuit ayant une résistance de 100ω et une self-induction de 0,0125 q; différence de potentiel de charge : 2000 volts.

Les expressions de i et de q sont alors définitivement

$$i = \frac{2Q}{\sqrt{4LC - R^2C^2}}\, \varepsilon^{-\frac{Rt}{2L}} \sin\left[\frac{\sqrt{4LC - R^2C^2}}{2LC}\, t\right] \qquad (44)$$

$$q = \frac{2Q\sqrt{LC}}{\sqrt{4LC - R^2C^2}}\, \varepsilon^{-\frac{R}{2L}t} \sin\left[\frac{\sqrt{4LC - R^2C^2}}{2LC}\, t + \text{arc tang}\, \frac{\sqrt{4LC - R^2C^2}}{2LC}\right] \qquad (45)$$

La figure 3 représente les valeurs de i (courbe I),

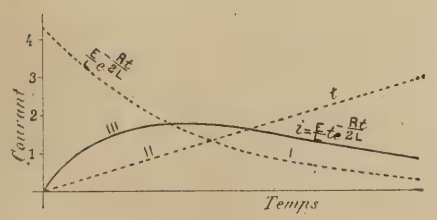


Fig. 4. — Méthode suivie pour la construction de la courbe représentant le courant dans le cas $R^2C = 4L$.

et de q (courbe II), dans le cas d'un circuit ayant pour constantes :

$$R = 100^{\omega}, \quad C = 1^{\mu}, \quad L = 0{,}0125^{g}.$$

On a ici

$$i = 20\, \varepsilon^{-4000\, t} \sin 8000\, t,$$
$$q = 0{,}00224\, \varepsilon^{-4000\, t} \sin (8000\, t + \text{arc tang } 2).$$

Ce sont des courbes à périodes constantes et à amplitudes décroissantes, suivant les courbes logarithmiques $20\, \varepsilon^{-4000\, t}$ et $0{,}00224\, \varepsilon^{-4000\, t}$.

Les périodes sont les mêmes $\frac{2\pi}{8000}$ ou $0^{s}{,}000785$, mais les courbes sont décalées d'un angle : arc tang 2 ou 62°27′. Il y a donc 1 275 oscillations complètes par seconde. Un très petit nombre d'oscillations suffisent pour amener la décharge à être complète.

Les échelles ont été choisies par suite de façon que les mêmes courbes exponentielles enveloppent celles du courant et de la charge.

3° $R^2C = 4L$. — *Décharge critique.*

C'est le cas limite où la décharge est sans oscillations.

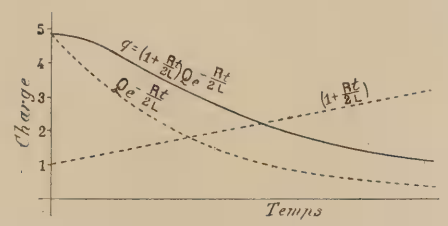


Fig. 5. — Méthode suivie pour la construction de la courbe représentant la charge du condensateur à chaque instant de la décharge.

Nous avons donné la solution générale dans ce cas; en opérant toujours de la même façon pour déterminer les constantes par les conditions initiales on arrive aux expressions

$$i = -\frac{QR^2}{4L}\, t\, \varepsilon^{-\frac{Rt}{L}} - \frac{E}{L}\, t\, \varepsilon^{-\frac{Rt}{L}}, \qquad (46)$$

$$q = \left(1 + \frac{R}{2L}\, t\right) Q\, \varepsilon^{-\frac{Rt}{2L}} \qquad (47)$$

Ce cas est souvent appelé le cas de la décharge rapide; il a déjà été signalé par le Dr W. E. Sumpner dans *The Philosophical Magazine*, puis discuté par le Dr Lodge dans *The Electrician* en mai 1888.

La figure 4 représente la courbe des inten-

sités ; on y a représenté les deux courbes $\frac{E}{L} t$ et $\frac{E}{L} \varepsilon^{-\frac{R}{L} t}$, puis leur produit.

La figure 5 représente la même opération pour la courbe de variation de la charge.

Enfin, la figure 6 montre les variations du

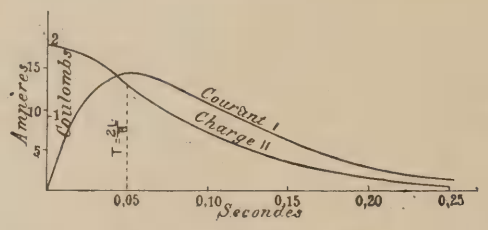


Fig. 6. — Courbes représentatives du courant et de la charge restante dans le cas de la décharge critique d'un condensateur d'une capacité de 1000 microfarads dans un circuit ayant une résistance de 100 ω et une self-induction de 2,5 q.

courant et de la charge dans un circuit ayant les constantes suivantes :

$$R = 100^{\omega}, \qquad C = 1000^{\mu}, \qquad L = 2{,}5^{q}.$$

La charge du condensateur a été faite avec un potentiel de 2000 volts.

F. Guilbert.

(*A suivre.*)

SUR LES ÉQUATIONS PHYSIQUES [1]

La lecture du très intéressant compte rendu de la séance du 28 octobre 1892 de la Société de physique de Londres [2] m'a suggéré, particulièrement en ce qui touche la communication du professeur Rücker, quelques observations.

Ce savant écrit les deux équations suivantes entre grandeurs concrètes :

$$2\,(L) + 1\,(L) = 3\,(L) \qquad (1)$$

$$60 \text{ secondes} = 1 \text{ minute.} \qquad (2)$$

(L) représente une grandeur concrète : l'unité de longueur, le pied, par exemple. La seconde et la minute sont aussi des grandeurs concrètes. La légitimité de ces équations ne me paraît pas contestable ; elles sont compréhensibles et à cet égard, aucune difficulté.

Mais l'auteur divise ces équations l'une par l'autre et obtient

$$\frac{2}{60}\left[\frac{\text{pied}}{\text{seconde}}\right] + \frac{1}{60}\left[\frac{\text{pied}}{\text{seconde}}\right] = 1\left[\frac{\text{yard}}{\text{minute}}\right] \qquad (3)$$

$$\text{yard} = 3 \text{ pieds.}$$

Il observe que l'on éprouve une difficulté à comprendre ce que signifie la division d'un pied par une seconde, mais cette difficulté, dit-il, n'est pas plus grande que lorsqu'on divise une quantité imaginaire par une quantité réelle, exercice analytique très familier.

Cette méthode et cette assimilation sont parfaitement inutiles et d'ailleurs inadmissibles.

Elles sont inadmissibles, puisque l'expression : $\left[\frac{\text{pied}}{\text{seconde}}\right]$ ne signifie rien.

Elles sont inutiles, car il suffit de dire qu'une relation entre grandeurs concrètes n'a de sens que si elle est homogène [1].

Effectivement, les équations (1) et (2) sont des équations de convention compréhensibles, mais ce ne sont pas des équations algébriques, et on ne peut raisonnablement les diviser l'une par l'autre.

Au contraire, si l'on écrit :

$$2\,\frac{\text{pied}}{\text{yard}} + 1\,\frac{\text{pied}}{\text{yard}} = 1 \qquad (1)'$$

$$60\,\frac{\text{seconde}}{\text{minute}} = 1 \qquad (2)'$$

On obtient deux équations algébriques.

On peut les diviser l'une par l'autre, ce qui donne :

$$\frac{2}{60}\,\frac{\text{pied}}{\text{yard}}\,\frac{\text{minute}}{\text{seconde}} + \frac{1}{60}\,\frac{\text{pied}}{\text{yard}}\,\frac{\text{minute}}{\text{seconde}} = 1 \qquad (3)'$$

Maintenant, dans la pratique algébrique, on intervertit l'ordre des facteurs, ce qui peut conduire à envisager, par exemple, le quotient : $\frac{\text{pied}}{\text{seconde}}$, mais il suffit de ne pas oublier que ces interversions conventionnelles dérivent d'une équation compréhensible telle que (3)'.

(1) A propos d'une communication du professeur Rücker à la Société de physique de Londres.

(2) *La Lumière Electrique* du 3 décembre 1892, p. 487.

(1) *Génie civil*, t. XIX, p. 60 et suiv.

En résumé, une équation homogène entre grandeurs concrètes pouvant toujours être ramenée à une équation comme (3)', que l'on comprend très bien, la seule condition à observer dans son établissement, c'est donc l'homogénéité.

CLAVENAD.

RECHERCHES RÉCENTES

SUR LA MESURE DES TEMPÉRATURES

PAR LES PROCÉDÉS ÉLECTRIQUES [1]

RECHERCHES DE M. CARL BARUS [2]

Depuis les travaux de M. Le Chatelier, le couple platine-platine iridié était délaissé pour la mesure des températures élevées et remplacé par le couple platine-platine rhodié à 10 o/o, qui semblait donner des indications plus régulières dans un plus grand intervalle de température. A propos d'un travail d'une très grande importance géologique sur la détermination des températures de fusion des roches ignées et sur l'influence de la pression sur ces points de fusion, M. C. Barus a entrepris une étude complète du couple platine-platine iridié à 20 o/o ; il a comparé ensuite les forces électromotrices de ce couple avec celles du couple platine-platine rhodié.

Au lieu de se contenter, comme l'a fait M. Le Chatelier, de mesurer les forces électromotrices du couple étudié pour quelques températures fournies par la fusion des métaux et de relier ensuite ces mesures par une formule parabolique, M. C. Barus a mesuré ces forces électromotrices à un très grand nombre de températures comprises entre 350 et 1300°, évaluées à l'aide d'un thermomètre à air. Jusqu'ici aucune propriété électrique n'avait été étudiée à des températures aussi élevées en employant le thermomètre à air pour la mesure de ces températures ; les expériences de M. Callendar sur la résistance du platine, pourtant si complètes, n'ont été effectuées que jusqu'à 650° environ et nous avons vu que les résultats obtenus à des températures plus élevées se raccordent mal avec les mesures prises à des températures inférieures. Les recherches de M. Barus présentent donc un intérêt tout spécial.

Les fils métalliques constituant les couples étaient préalablement recuits au rouge blanc, afin d'assurer la permanence de leurs propriétés électriques. Au voisinage immédiat de la soudure chaude l'isolement des fils était obtenu au moyen d'un cylindre d'argile très réfractaire de 25 à 30 centimètres de longueur, percé d'un bout à l'autre de deux canaux cylindriques de 0,1 cm. de diamètre dans lesquels s'engageaient les fils. Cette soudure était chauffée comme nous l'indiquerons plus loin ; la soudure froide était maintenue dans un bain de pétrole.

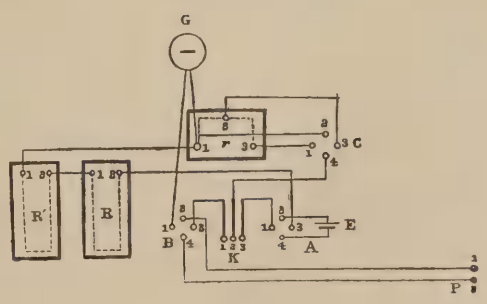


Fig. 1.

La force électromotrice du couple était mesurée par la méthode de compensation en l'opposant à la différence de potentiel de deux points du circuit de deux éléments Daniell au sulfate de cuivre comparés de temps en temps à un étalon Latimer-Clark. La figure 1 montre la disposition des appareils.

Les extrémités des fils du couple sont reliées en P à l'appareil de mesure au moyen de godets à mercure plongés dans du pétrole. Les éléments Daniell sont en E ; leur courant traverse les boîtes de résistance R et R' et la résistance variable *r* qui sert à modifier la force électromotrice d'opposition. En A et B sont représentés deux commutateurs à quatre petits godets de mercure d'un usage constant pour renverser le sens du courant dans un circuit ; en renversant en même temps à l'aide de ces commutateurs les sens des forces électromotrices et en prenant la moyenne des mesures obtenues avant et après le renversement, l'influence des courants thermo-

---

[1] *La Lumière Électrique* des 7 et 14 janvier 1893, p. 21 et 75.

[2] *Philosophical Magazine*, t. XXXIV, p. 1 (juillet 1892) et p. 376 (octobre 1892).

électriques parasites qui peuvent prendre naissance aux contacts se trouve éliminée. Un commutateur du même genre placé en C permet d'introduire les résistances *r* en dérivation ou en série. En K est une clef double consistant en un levier dont les dents plongent dans trois coupelles à mercure disposées comme l'indique la figure 2. Enfin G est un galvanomètre Thomson très sensible.

Le thermomètre à air servant à la mesure des

Fig. 2

températures est formé d'un réservoir en porcelaine de Bayeux verni extérieurement. Ce réservoir porte d'un côté un tube capillaire *h g* (fig. 3), en porcelaine également, de 40 cm. de longueur, et de l'autre côté un tube rentrant *m n*. C'est au fond de ce tube qu'est placée la soudure chaude du couple. Le cylindre d'argile isolant ferme complètement ce tube et empêche tout rayonnement. De cette manière, la température de la soudure ne peut différer beaucoup, si même elle diffère, de celle de l'air contenu dans le réservoir thermométrique.

Le réservoir thermométrique est relié par des

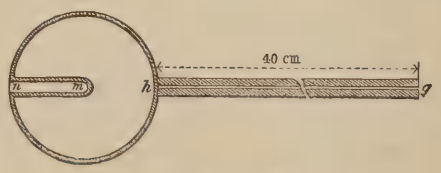


Fig. 3

tubes capillaires métalliques à la partie supérieure d'une des branches d'un manomètre en U. L'autre branche est constituée par un tube flexible aboutissant à un réservoir de mercure se déplaçant le long d'un support vertical de deux mètres de hauteur. La différence des niveaux du mercure dans les deux branches était mesurée à l'aide du cathétomètre. D'ailleurs, le plus souvent cette différence n'était pas considérable, car la méthode de mesure à pression constante avait été presque toujours adoptée, la méthode de mesure à volume constant donnant lieu, aux températures élevées, à des pressions considérables qui, outre qu'elles sont dangereuses, amènent des déformations du réservoir thermométrique et par suite des erreurs impossibles à évaluer.

Un robinet de verre à trois voies placé sur le trajet du tube reliant le thermomètre au manomètre permet de faire le vide dans le réservoir et d'y introduire de l'air sec.

L'appareil de chauffage présente quelques particularités intéressantes. Il comprend un moufle sphérique C D (fig.) 4portant deux bras horizontaux E et F. Ce moufle est formé de deux parties se raccordant suivant un plan diamétral contenant l'axe commun des prolongements E et F. Au milieu du moufle est disposé le réservoir thermométrique ; le tube de ce réservoir sort par F ; le cylindre d'argile contenant les fils de la soudure chaude du couple sort par P. Le moufle est animé d'un mouvement de rotation autour de l'axe E F.

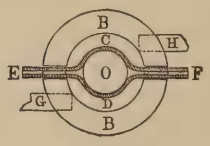


Fig. 4

Le fourneau est formé d'une portion cylindrique surmontée d'un dôme hémisphérique. A sa partie inférieure se trouvent deux brûleurs à gaz G et H placés tangentiellement. Cette disposition a pour but de former un tourbillon de flamme tournant autour d'un axe vertical passant par le centre O du moufle. L'effet de ce tourbillon sur le moufle est le même que si, la flamme étant fixe, le moufle possédait un mouvement de rotation inverse autour d'un axe vertical. Ce mouvement virtuel, combiné avec le mouvement de rotation autour de E F, uniformise la température. Théoriquement, il faudrait, pour obtenir une température parfaitement uniforme, faire tourner le moufle autour d'un troisième axe perpendiculaire au plan des deux premiers. La réalisation de cette troisième rotation étant, sinon impossible, du moins très difficile, il a fallu s'en passer.

La figure 5 représente la coupe du fourneau et des appareils qu'elle contient. Les brûleurs H et G sont fixés à des pièces métalliques rectangulaires I et K pouvant glisser sur des guides

e et L, *e'* et M, ce qui permet de les retirer facilement. L'air est amené par les tubes *h* et *g* ; le gaz arrive par les tubes *c* et *c'* et se répand dans l'espace annulaire compris entre les tubes *h* et H, ou *g* et G. Deux supports universels *q q* et *r r* soutiennent le tube du thermomètre et le couple. En N et N' sont des colliers en fer servant à maintenir en contact, à l'aide des vis T et T', les deux parties symétriques dont se compose le moufle ; une couche d'amiante placée entre les surfaces des bras du moufle et des colliers empêche l'échauffement de ces derniers. Pour assurer le mouvement de rotation du moufle sans qu'il y ait contact entre ses parois et celles du fourneau ou celles du thermomètre, les colliers sont terminés par des plaques circulaires P et P' roulant respectivement sur deux galets Q et Q' dont on peut faire varier la position verticale à l'aide des vis V et V' ; ces galets peuvent en outre se déplacer horizontalement le long de leurs axes R et R', afin de ne pas gêner les dilatations. La poulie Z commande le mouvement de rotation.

On voit que l'appareil de chauffage était étudié et construit avec le plus grand soin. Toutes ces précautions, que nous avons décrites dans le but de montrer le degré de confiance que l'on doit accorder aux expériences de M. Barus, n'étaient d'ailleurs pas inutiles. Outre qu'une uniformité presque absolue de température était ainsi obtenue, le réservoir thermométrique, préservé de l'action directe de la flamme, n'était pas

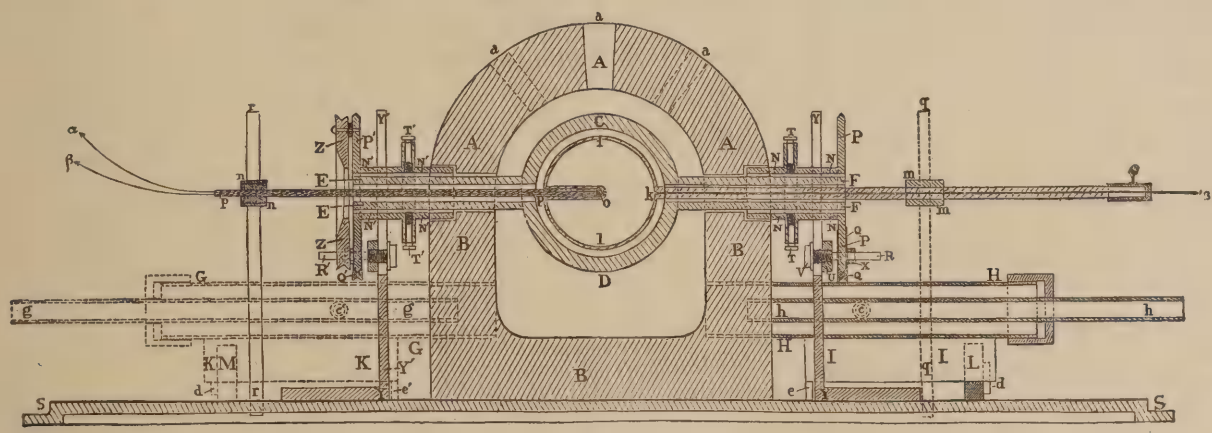


Fig. 5.

exposé à se briser comme il arrive très souvent aux hautes températures.

Le soin apporté dans les corrections était en rapport. Les volumes du réservoir, du tube de porcelaine, des tubes métalliques de communication, du manomètre, le coefficient de dilatation de la porcelaine étaient mesurés avec une grande exactitude. Des expériences préliminaires étaient faites pour s'assurer que les tubes capillaires n'opposaient pas au mouvement de l'air une résistance suffisante pour retarder les indications du manomètre. D'autres expériences furent entreprises pour reconnaître si le tube rentrant du réservoir thermométrique n'avait pas d'influence sur la dilatation régulière du réservoir et si les indications ne se trouvaient pas ainsi faussées. Dans ce but, un réservoir thermométrique à tube rentrant et un réservoir parfaitement sphérique étaient placés dans un moufle elliptique C D (fig. 6) contenu dans un fourneau à section de même forme. Les indications des deux thermomètres furent trouvées identiques. Enfin, il était à craindre que les gaz ne se condensent dans les pores de la porcelaine, car la surface intérieure des réservoirs ne pouvait être vernie, le tube capillaire étant réuni au réservoir avant la cuisson pour rendre l'appareil moins susceptible de se briser quand on le chauffe. Pour reconnaître si cette crainte était fondée, M. Barus construisit un thermomètre dont le réservoir était verni sur ses deux faces. La figure 7 représente la partie essentielle de ce thermomètre ; le réservoir *d p* porte une tubulure *s r* dans laquelle s'engage le tube capillaire ; on soude ensuite le tube au réservoir à l'aide du chalumeau oxydrique. En comparant les indications de cet instrument à celle d'un thermomètre à réservoir non verni intérieure-

ment, aucune différence appréciable ne fut relevée.

La précision des mesures paraît donc atteindre un très haut degré ; M. Barus estime, après une discussion minutieuse des erreurs probables, que l'on peut compter aux températures voisines de 1000° sur une approximation de 1°.

Neuf séries de mesures effectuées avec deux réservoirs thermométriques différents ont fourni des résultats très concordants pour les valeurs de la force électromotrice du couple à une même température. Dans ces mesures, la température du bain de pétrole contenant la soudure froide du couple n'était pas toujours la même. Pour permettre la comparaison des résultats. M. C. Barus a calculé les valeurs de la force électromotrice dans l'hypothèse où la soudure serait à la température de 20°.

La représentation graphique des résultats, en

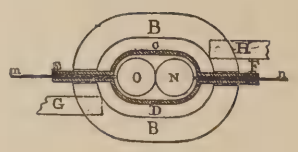


Fig. 6

portant en abscisses les températures et en ordonnées les forces électromotrices exprimées en microvolts, a donné une courbe parfaitement régulière se rapprochant beaucoup d'une droite. Ce résultat est en désaccord avec celui de M. Lechatelier, ce dernier ayant trouvé [1] que la force électromotrice du couple platine-platine iridié à 20 o/o était exprimée par deux formules paraboliques s'appliquant, l'une aux températures inférieures à 1000°, l'autre aux températures supérieures.

M. C. Barus a essayé de représenter les résultats des mesures par une formule. Aucune formule parabolique ne donne une approximation suffisante ; d'autres formules plus compliquées ont été essayées sans plus de succès. Pour déduire les températures des forces électromotrices observées, il est donc indispensable d'avoir recours à la construction graphique.

L'étude du couple platine-platine iridié terminée, M. Barus s'est occupé de la comparaison de la force électromotrice de ce couple avec celle du couple platine-platine rhodié à 10 o/o [1].

Pour assurer l'égalité de température des soudures chaudes de ces couples, ces soudures sont fondues ensemble à l'aide du chalumeau oxyhydrique. Elles sont chauffées dans un creuset de platine plein de chaux calcinée. Les soudures froides sont maintenues dans deux bains de pétrole séparés et sensiblement à la même température. La mesure des forces électromotrices s'effectue par l'appareil employé dans l'étude du couple platine-platine iridié.

Le creuset étant chauffé vers 1500°, on le laissait se refroidir lentement. Pendant ce refroidissement des mesures de force électromotrice étaient faites alternativement avec chacun des couples. Les variations de ces forces électromotrices en fonction du temps étaient représentées graphiquement en portant les temps en abscisses

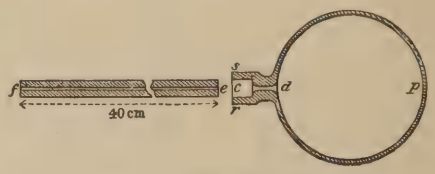


Fig. 7

et les forces en ordonnées. Des courbes obtenues, il était possible de déduire à 1/100 près les valeurs des forces électromotrices de l'un et l'autre couple au même instant, c'est-à-dire pour une même température de la soudure chaude. En ramenant ces valeurs à ce qu'elles seraient pour la température 20° des soudures froides, M. C. Barus a constaté que leur rapport est sensiblement le même.

Mais le refroidissement du creuset de platine est si rapide aux environs de 1500° qu'il est impossible d'avoir des mesures précises tant que la température est au-dessus de 1200°. Pour effectuer la comparaison aux températures supérieures, jusqu'à 1700°, M. C. Barus a effectué les mesures des forces électromotrices pendant l'échauffement du creuset. Le rapport des forces électromotrices a été trouvé constant, mais un peu plus grand que celui des mesures prises au-dessous de 1200°. Dans ce dernier cas, on a

$$\frac{e'_{20}}{e_{20}} = 0{,}7724 \pm 0{,}0016;$$

[1] *Comptes Rendus*, t. CII, p. 819 (1886).

[1] *Philosophical Magazine*, t. XXXIV, p. 376.

et pour les températures comprises entre 1200° et 1700° ;

$$\frac{e'_{20}}{e_{20}} = 0,7774 \pm 0,0016,$$

e'_{20} se rapportant au couple platine-platine rhodié, e_{20} au couple platine-platine iridié.

La petite différence que présentent ces rapports doit-elle être attribuée à ce que vers 1200° la loi de variation de la force électromotrice du couple à platine rhodié se modifie brusquement? C'est peu probable si l'on tient compte de ce que les deux séries d'expériences ne sont pas faites dans les mêmes conditions. Quand on opère par températures croissantes, les gaz chauds du foyer peuvent, par leur conductibilité, apporter des erreurs considérables. A ces températures élevées, la conductibilité des tubes d'argile réfractaire servant à isoler les fils métalliques n'est pas non plus négligeable. Enfin, des forces électromotrices de contact peuvent prendre naissance aux contacts de l'argile et des conducteurs ; ces forces électromotrices ne sont pas les mêmes pour les deux couples, puisqu'il y a, d'une part un contact platine rhodié-silicate, d'autre part un contact platine iridié-silicate.

Pour ces raisons, M. Barus pense que pour toutes les températures le rapport des forces électromotrices est constant.

La constance de ce rapport est d'une grande importance. L'échelle des températures définies par la force électromotrice d'un des couples est dès lors la même que celle qui est définie par la force électromotrice de l'autre. D'après le raisonnement de M. Cailletet, exposé plus haut, il y a donc beaucoup de chances pour que la loi de variation de la force électromotrice de ces couples avec la température normale soit, pour les températures supérieures à 1300°, celle qui a été obtenue par M. Barus pour les températures inférieures.

RÉSUMÉ

Jetons un coup d'œil d'ensemble sur les résultats des travaux qui précèdent.

Pour la mesure des basses températures, nous sommes maintenant certains que le thermomètre à hydrogène convient jusqu'à — 100° et il est bien probable, d'après les expériences de Wroblewsky qu'il convient encore jusque vers — 180°. Il est donc possible de relier les indications d'un couple ou d'une résistance à l'échelle normale de température dans un intervalle suffisamment grand pour qu'une extrapolation nous fasse connaître avec une assez grande précision les valeurs des températures les plus basses que nous sachions produire.

Pour la mesure des températures moyennes, il est établi que les couples thermo-électriques peuvent donner une approximation comparable à celle du thermomètre à mercure, résultat important, les couples étant, dans beaucoup d'expériences, plus commodes à employer que le thermomètre à mercure.

Si nous passons aux températures élevées, les conclusions sont moins favorables. Les tables de M. Barus permettent de mesurer ces températures avec une assez grande précision jusqu'à 1300°, et les résultats de ses dernières expériences semblent indiquer qu'une extrapolation est permise jusque vers 1700°. Mais rien ne prouve que ses tables s'appliqueront à des couples formés des mêmes matériaux de provenance différente ; M. Barus n'a, en effet, publié aucune expérience faite en vue de rechercher l'influence que peuvent avoir de très légères différences d'état moléculaire des métaux sur la force électromotrice des couples. Sous ce rapport, les expériences de M. Callendar sont plus complètes, mais malheureusement la formule qu'il a donnée ne peut, comme nous l'avons vu, s'appliquer au-delà de 650°. Dans l'état actuel de nos connaissances, la mesure des températures très élevées exigerait donc l'emploi d'un couple ou d'une résistance préalablement étudiés à l'aide d'un thermomètre à gaz ; en d'autres termes, les procédés électriques ne paraissent pas permettre d'évaluer avec précision les températures pour lesquelles l'emploi du thermomètre à gaz devient impossible par suite de la fusion du réservoir.

J. Blondin.

CHRONIQUE ET REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

Téléphone double Hayes et Richards (1892).

Ce téléphone a pour objet de permettre d'écouter avec un seul appareil à deux circuits à la

fois, sans interférence possible d'un circuit sur l'autre, c'est-à-dire sans que les sons d'un circuit puissent se transmettre à l'autre au-delà de l'appareil.

A cet effet, le récepteur renferme deux diaphragmes 9, 9, séparés par une cloison 8, au-dessus de deux cavités 10, 10 amenant, les sons aux fentes x, x du pavillon 12, et chacun de ces diaphragmes est actionné par une paire d'électro-aimants p p et p_2 p_2. Chacune de ces paires d'électros est reliée à l'un des circuits, et leurs axes polaires (p — p), (p_2 — p_2) se croisent, comme l'indique la figure 2, à angle droit, de manière à n'exercer l'une sur l'autre aucune induction mutuelle.

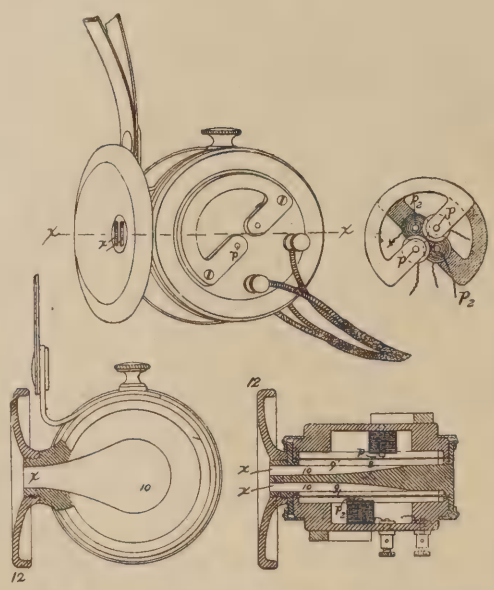


Fig. 1 à 4. — Téléphone Hayes et Richards.

Ce téléphone est adopté par la compagnie Bell.

G. R.

Pile sèche Vogt (1892).

L'auge de cette pile est divisée en deux compartiments par une cloison en pâte de papier r r (fig. 1 et 2).

Le compartiment inférieur renferme un cylindre de manganèse b b, prolongé par l'électrode positive en carbone k, et entouré de la couronne en zinc fendue z z; le restant de ce compartiment est rempli d'une matière poreuse imprégnée de chlorhydrate d'ammoniaque. Le compartiment supérieur est rempli d'une matière poreuse imbibée d'acide phosphorique dilué, et le tout est fermé par un couvercle d'ébonite h, ne laissant passer que les deux pôles. Quand on réunit ces deux pôles, le chlore du chlorhydrate d'ammoniaque s'unit au zinc pour former du chlorure de zinc, et l'ammoniaque dégagé s'unit à l'acide phosphorique du compartiment supérieur pour former du phosphate d'ammoniaque.

Cette pile donnerait, d'après M. Vogt, un courant presque constant, parce que le zinc,

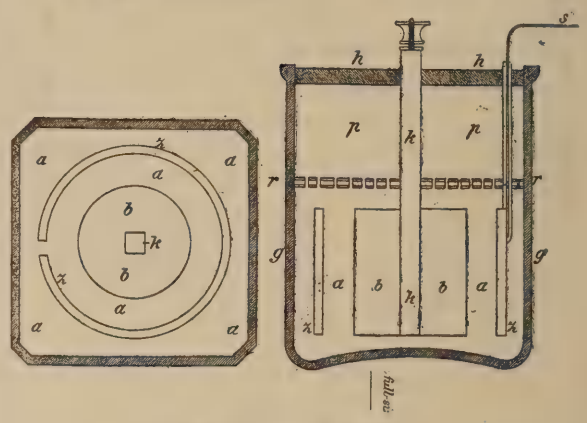


Fig. 1 et 2. — Pile Vogt.

uniformément attaqué sur tous ses points — et supposé homogène et pur — ne donne lieu à aucune action parasite, et s'use lentement.

La fermeture hermétique de l'élément, rendue sans danger grâce à l'absorption de l'ammoniaque dégagé par l'acide phosphorique, empêche toute perte par évaporation et prolonge l'activité de la pile, dont la force électromotrice est aussi plus forte que celle de la plupart des piles sèches.

G. R.

Machine à recouvrir les fils de Barrett (1892).

Cette ingénieuse machine a pour objet de relier entre eux, de protéger en partie et d'isoler deux conducteurs parallèles a a (fig. 5) au moyen de cordes b et c convenablement entrelacées, de manière à former rapidement ce que les Américains appellent un circuit tressé « a woven circuit ». Les cordes b b constituent comme la trame et la corde c comme la chaîne de cet assemblage.

Les deux conducteurs a a descendent des bo-

bines latérales H H dans l'axe creux F du tambour fixe D (fig. 3) où ils sont enlacés des fils de trame *b b*, amenés de la bobine I, par le battant K, et du fil de chaîne *c*, amené de la navette circulaire E, à bobine L; puis le câble ainsi formé s'enroule sur les bobines envideuses M M.

Voici comment fonctionne cette machine.

Les conducteurs *a a* sont guidés parallèlement par deux encoches des lèvres 18 du tambour D (fig. 6) et les fils de chaîne *b b* arrivent aussi des œillets 4,4 du battant K (fig. 2), guidés parallèlement entre les conducteurs *a a* par ces mêmes réglettes 18, que l'extrémité du battant parcourt alternativement de gauche à droite, puis de droite à gauche, sous l'action de l'excentrique 26 et du levier 23.

Les figures 1, 3 et 6 supposent le battant au fond de course à gauche et la navette L également

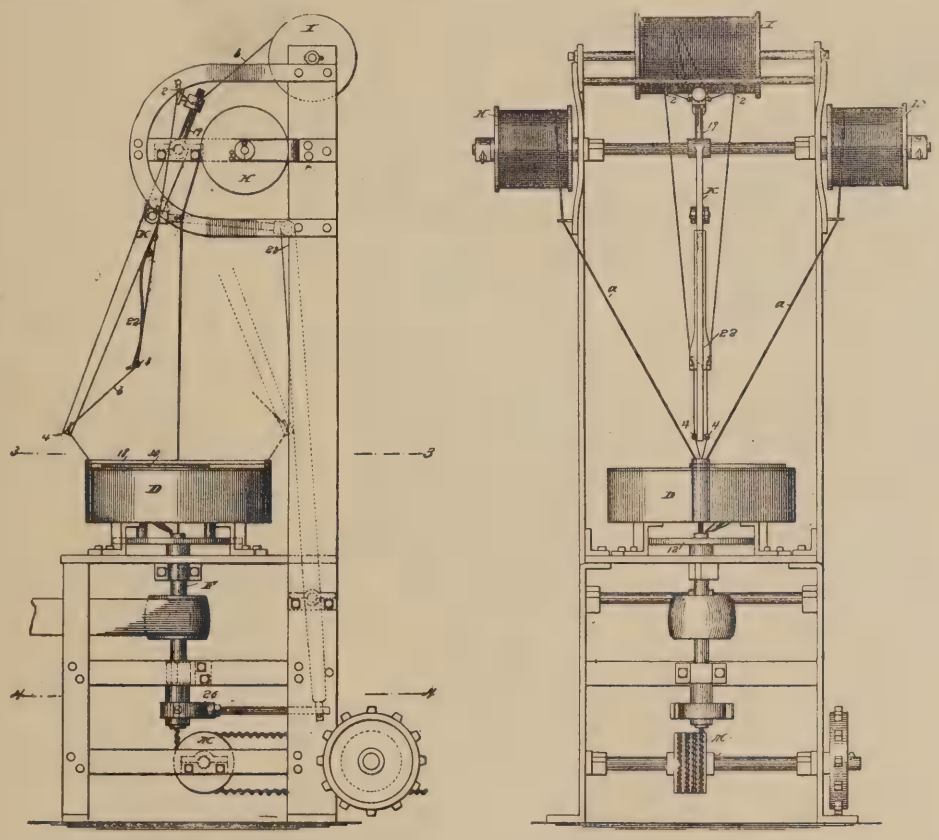


Fig. 1 et 2. — Barrett. Machine à recouvrir les fils.

à gauche. Cette navette est entraînée continuellement dans la rotation du plateau 12 par les ressorts 15 du bras 13 (fig. 6), le ressort 16 du deuxième bras 14 ne faisant que la maintenir constamment appuyée sur le ressort 15. En continuant à tourner dans le sens des aiguilles d'une montre, la navette pénétrera, de la position figure 6, entre les fils de trame *b* et les conducteurs *a a*; puis, au commencement de cette pénétration, le battant K passe de gauche à droite, mais sans entraîner les fils *b*, maintenus (fig. 3) par le serrage du bord 30 de la navette qui les empêche de flotter sur les réglettes 18 et de s'embrouiller dans la navette, tout en faisant marcher le battant K d'une façon continue, sans pause ou temps perdu. Pendant le passage du battant de gauche à droite, son ressort 22 (fig. 1) cède, et laisse aux fils *b*, entre les œillets 2 et 4, un mou suffisant pour permettre au battant d'opérer son mouvement, tout en maintenant le fil *b* à gauche, par le levier 30 de la navette. En même temps, le bras 19 de K dévide de la bobine I la longueur

équivalente de fils *b*. Ces fils sont ainsi maintenus à l'extérieur de la navette pendant l'oscillation du battant (fig. 3 et 4) jusqu'à ce que la navette y ait passé avec le fil de chaîne *c* dévidé de L. et guidé en 28 et 29, puis ces fils *b* se détendant en passant entre la queue de la navette et son ressort 17. Cette détente permet au ressort 22 du battant de retirer immédiatement les fils *b* d'entre les réglettes 18, de manière qu'ils se pré-

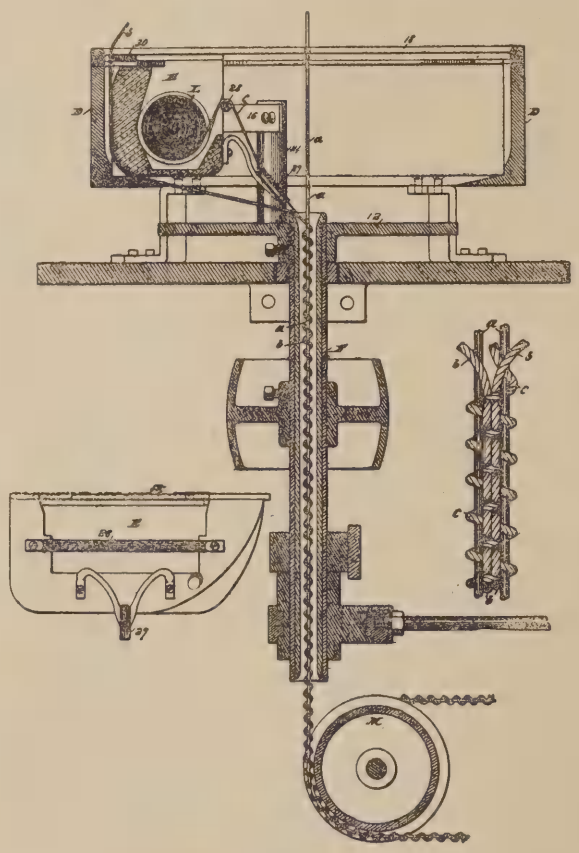


Fig. 3 à 5. — Barrett.

sentent à la navette de l'autre côté de ces réglettes, et lorsqu'elle arrive à 180° de la position indiquée en figure 6, dans les mêmes situations relatives qu'en figure 3, c'est-à-dire, aussi à l'extérieur de sa pointe et tendu par le ressort 22. La navette passe alors, avec la chaîne *c*, de nouveau entre les fils de trame *b b*, de l'autre côté des conducteurs *a a* et des réglettes 18, puis le battant passe de droite à gauche. Les opérations se poursuivent ainsi indéfiniment, obtenant pour résultat, comme l'indique la figure 5, un câble formé de deux conducteurs parallèles *a a*, ayant entre eux les fils de trame *b*, parallèles et entrecroisés par la chaîne hélicoïdale *c*.

On peut facilement multiplier le nombre des conducteurs en augmentant celui de leurs guides

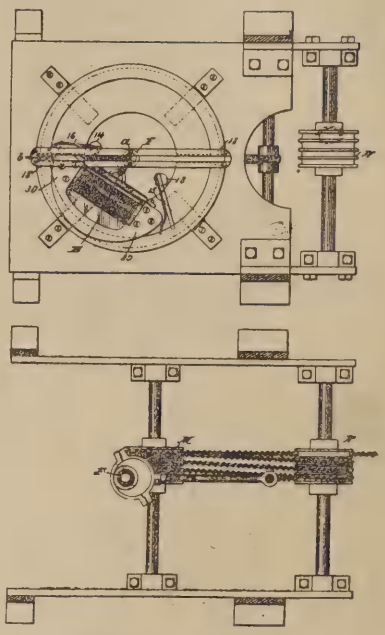


Fig. 6 à 7. — Barrett.

13 et des fils de chaîne *b* sur K, et aussi celui des chaînes *c*, dévidées d'une ou de plusieurs navettes E. G. R.

Microphone Clamond.

Pour éviter les variations imparfaites de la résistance que présentent les transmetteurs mi-

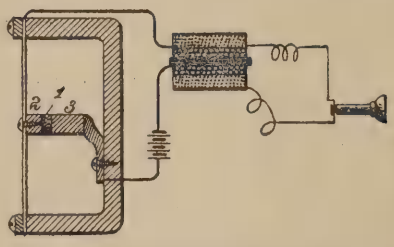


Fig. 1. — Microphone Clamond.

crophoniques, M. Ch. Clamond place entre les électrodes des corps plastiques, se déformant sous l'influence des vibrations de la plaque, et dont la résistance subit des fluctuations correspondantes.

Dans le dispositif représenté figure 1, l'élec-

trode 2 est fixée sur le diaphragme, l'électrode 3 est portée par un bras rigide. Entre les deux électrodes se trouve le corps plastique formé par un mélange de poudres métalliques avec des liquides ou des substances visqueuses, comme la glycérine, la vaseline, etc.

Nous ne pensons pas qu'avec un mélange de ce genre ce soit la conductibilité qui varie selon la déformation, mais bien plutôt la capacité électrostatique. A. H.

Pile Washburn (1892).

Cette pile se compose d'une suite d'éléments formés chacun d'un zinc A séparé par un papier spongieux C du cuivre B qui est, lui-même, séparé par une couche de paraffine D du zinc suivant, avec lequel il est relié en série par une lan-

Fig. 1 et 2. — Pile Washburn.

guette *b*. Ces rondelles sont enfilées sur une tige G, enveloppée d'un isolant I, rivée au dernier cuivre du fond de la pile, et dont l'anneau constitue l'un des pôles de la pile, l'autre étant formé par la soudure de E au premier zinc.

G. R.

Le poids spécifique du peroxyde de plomb formé dans les accumulateurs, par J.-F. Weyde (1).

Cette donnée peut être utile dans la construction des accumulateurs. Elle a été déterminée par M. Kirchknopf sur un grand nombre de cylindres de peroxyde détachés d'électrodes ayant servi pendant quatre années. La masse présentait une texture cristalline; après l'avoir plusieurs fois lessivée avec de l'eau distillée, et après séchage, M. Kirchknopf trouva les chiffres suivants :

Poids spécifique de la masse positive prise dans un accumulateur bien formé et nouvellement chargé,

$$V_1 = 7{,}75,$$

sans tenir compte des pores;

Poids spécifique de la même masse avec les pores remplies d'air,

$$V_2 = 4{,}66.$$

C'est ce poids par unité de volume qu'il faut considérer pour calculer le poids de masse active entrant dans un espace donné.

A. H.

Sur le débit spécifique des induits de dynamos avec courant continu, courants alternatifs et courants polyphasés, par H. Goerges (1).

En examinant l'intensité d'aimantation dans un anneau de fer excité par plusieurs courants alternatifs de phases différentes, M. A. du Bois-Reymond a montré que l'aimantation est d'autant plus forte que l'on emploie plus de bobines. Pour trois bobines il avait trouvé en unités arbitraires le nombre 117, pour 4 bobines 127, et pour 6 bobines 136. L'enroulement était réparti uniformément sur l'anneau; dans les diverses expériences il était le même, comme aussi l'intensité moyenne du courant; le montage seul était changé.

Je me suis demandé si en renversant les choses, c'est-à-dire en produisant dans un anneau un champ tournant, on n'obtiendrait pas de tensions différentes. Il est évident que les diverses spires de l'enroulement uniforme n'atteignent, quand le champ tourne, leur force électromotrice maxima qu'à des époques différentes. Mais lorsque différentes spires sont réunies en une bobine, l'intensité du courant est la même dans toutes ces spires. Le maximum du courant ne

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 2 décembre 1892.

(1) Communication à l'Elektrotechnischer Verein, de Berlin.

peut donc coïncider avec le maximum de la force électromotrice que dans une des spires. Or, comme la puissance est la plus grande quand il n'y a pas de différence de phase, une seule des spires présente la puissance maxima.

Le débit maximum d'un anneau est donné par le courant maximum que peut supporter l'enroulement, et d'autre part par l'aimantation que l'on se propose d'atteindre dans le fer. Par le couplage en série de toutes les spires on diminue donc la puissance totale que peut fournir un anneau. On atteindrait, au contraire, la puissance la plus considérable si chacune des spires était indépendante de toutes les autres. J'appellerai donc cette disposition le couplage idéal.

Si l'on admet une distribution sinusoïdale du magnétisme dans l'anneau, il n'est pas difficile de calculer les forces électromotrices. Je suppose qu'à un instant donné le nombre des lignes de forces de l'anneau varie comme un sinus de section à section. S'il n'y a pas de self-induction dans le circuit extérieur, le courant coïncide en phase avec la différence de potentiel aux bornes, et dans ce cas on obtient la puissance maxima pour le montage considéré. Pour une intensité de courant égale à l'unité, la somme des tensions donne la mesure du travail maximum.

Soit Q la section de l'anneau de fer, M l'induction magnétique, c'est-à-dire le nombre de lignes de force par centimètre carré, p le nombre de spires de l'anneau, T la durée d'une période. et φ l'angle qui caractérise la position d'une spire; alors la force électromotrice au temps t est

$$e = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{p\,Q\,M}{T} \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \varphi\right) 2\pi \, d\varphi,$$

et par suite la moyenne de la force électromotrice en volts

$$E = \sqrt{2} \sin\left(2\pi \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2}\right) \frac{p\,Q\,M}{T} 10^{-8}$$
$$= x\,(p\,Q\,M\,n\,10^{-8}).$$

Avec le courant alternatif ordinaire une bobine couvre la moitié de l'anneau; donc

$$\varphi_2 - \varphi_1 = \frac{1}{2},$$

pour m bobines

$$\varphi_2 - \varphi_1 = \frac{1}{m}.$$

On obtient donc pour la force électromotrice E d'une bobine et pour la puissance de l'anneau entier $A = m\,E$, les nombres du tableau I.

TABLEAU I

Nombre de bobines.	x	$m\,x$	A 0/0
2	$\frac{2}{\sqrt{2}}$	$\frac{4}{\sqrt{2}}$	63,6
3	$\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}$	$\frac{3\sqrt{3}}{\sqrt{2}}$	82,6
4	1	4	90,0
6	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{6}{\sqrt{2}}$	95,3
12	$\frac{\sqrt{2-\sqrt{3}}}{\sqrt{2}}$	$\frac{12\sqrt{2-\sqrt{3}}}{\sqrt{2}}$	98,8
∞	0	$\frac{2\pi}{\sqrt{2}}$	100

La tension du courant continu est $2\,p\,Q\,M\,n\,10^{-8}$, donc la valeur x est 4 pour le courant continu. L'enroulement pour courant continu fournit donc la même puissance que l'enroulement à quatre bobines. Les couplages à six et à douze bobines lui sont supérieurs, ce dernier mode de couplage atteint même presque le maximum de puissance.

Si nous comparons les valeurs trouvées pour la puissance avec celles déterminées expérimentalement pour l'intensité d'aimantation, nous obtenons

Nombres de bobines	Intensité observée.		A calculé.
3	117	82,9 0/0	83,6 0/0
4	127	90,0 »	90,0 »
6	136	96,3 »	95,0 »
12	149	105,6 »	98,8 »

Les nombres concordent très bien jusqu'au dernier. Celui-ci n'a été déterminé que beaucoup plus tard et il contient peut-être une erreur d'observation.

En même temps, l'on voit que la puissance

avec courant alternatif ordinaire est à celle que donne le couplage à six bobines, comme 2 est à 3.

On peut donner aux nombres A une forme géométrique. Si l'on pose la puissance du mode de couplage idéal proportionnelle à la circonférence de l'anneau, les puissances des autres couplages sont proportionnelles aux pourtours des polygones réguliers de m côtés inscrits dans cette circonférence.

Quelques expériences ont été effectuées sur une machine Siemens ordinaire du type II. Les surfaces polaires de cette machine étaient de forme ovale; le champ est donc le plus intense au milieu et s'affaiblit vers les extrémités.

Nous avons donc un champ se rapprochant de la forme sinusoïdale. En se servant de trois anneaux de contact reliés à trois points équidistants de l'enroulement on pouvait obtenir simultanément du courant continu et des courants polyphasés. On trouva que le rapport des tensions du courant continu et des courants

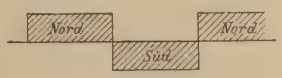


Fig. 1

polyphasés, qui devait être de 0,612 d'après le calcul, était de 0,609 d'après l'expérience. Par une commutation très simple, l'induit pouvait être sectionné en six bobines. Les mesures donnèrent alors le rapport 1,20, le calcul 1,227; l'écart est de 2,2 o/o.

En général on n'a pas de champ sinusoïdal; on cherche, au contraire, à le rendre le plus uniforme possible. Pour le courant continu le rendement de l'enroulement est alors de 100 o/o.

M. G. Kapp a donné à ce propos quelques chiffres. Il suppose que le champ est uniforme, mais il prend différentes largeurs de pôles. Dans le premier cas il admet que la largeur est égale au sectionnement, c'est-à-dire que les bords des pôles successifs se touchent. Dans ses diagrammes il représente le pôle nord par un rectangle situé au-dessus d'une horizontale A B (fig. 1), le pôle sud par un rectangle de même grandeur au-dessous de A B. Dans le premier cas, les rectangles se touchent par leurs sommets.

Il examine ensuite les cas où les pôles n'occupent que la moitié ou le tiers d'une section. Il représente d'une façon générale la tension par l'expression

$$E = x\,(p\,Q\,M\,n\,10^{-8}),$$

comme nous l'avions trouvé plus haut [1] pour un cas particulier, et il calcule les valeurs de x pour six cas différents. Ce sont les six premières valeurs du tableau II.

TABLEAU II

		x	λ	η %
I		2,00	2,00	100
II		1,16	2,00	58
III		1,64	2,00	82
IV		1,64	2,83	58
V		2,32	2,83	82
VI		2,84	3,53	80,5
VII		2,45	2,45	100
VIII		2,12	2,45	86,6
IX		1,63	2,45	66,7
X		2,45	2,45	100

Les nombres x donnent une mesure de la puissance maxima que fournit l'enroulement, mais ils ne représentent que des cas extrêmes. Car ils supposent que le produit Q M est dans tous les cas le même dans l'anneau. Il faut alors que les pôles soient d'autant plus aimantés que leur surface est plus petite, c'est-à-dire au maximum dans le cas VI. En même temps la résistance de l'entrefer augmente, et l'excitation doit augmenter. Il n'est donc pas permis de diminuer considérablement la surface de pôle. M. Kapp indique que le cas V se rencontre très fréquemment. Mais les nombres x n'indiquent pas quel parti on peut tirer de l'enroulement. J'ai donc calculé dans la deuxième colonne les

[1] Dans cette expression Q est la surface des pôles. Elle est le double de la section de l'anneau, de sorte que les valeurs de x sont maintenant deux fois plus faibles que plus haut.

coefficients x, qui se rapportent au montage idéal, pour la même disposition du champ et des spires. Le rapport

$$\eta = \frac{x}{\lambda}$$

indique le rendement de l'enroulement ; ses valeurs en o/o forment la troisième colonne.

J'ai ajouté les cas VII à X. La largeur des pôles est ici des 2/3 de celle d'une section. On a supposé que chaque pôle porte trois rainures. VII se rapporte au cas où une seule rainure contient du fil ; pour VIII on s'est servi de deux rainures, et pour IX de toutes les trois. Il en est de même dans le cas X, où l'enroulement fournit des courants polyphasés.

Pour les courants polyphasés on peut admettre que la somme algébrique des trois tensions est nulle à chaque instant, et que l'on peut obtenir une mesure de la puissance en additionnant les trois tensions.

TABLEAU III

t	Spires 1 à 5	Spires 6 à 10	Spires 11 à 15	Σe	$(\Sigma e)^2$
1	+ + + + +	+ + + + +	+ + + + +	+ 15	225
2	+ + + + +	+ + + + +	+ + + + 0	+ 14	196
3	+ + + + +	+ + + + +	+ + + 0 0	+ 13	169
4	+ + + + +	+ + + + +	+ + 0 0 0	+ 12	144
5	+ + + + +	+ + + + +	+ 0 0 0 0	+ 11	121
6	+ + + + +	+ + + + +	0 0 0 0 0	+ 10	100
7	+ + + + +	+ + + + 0	0 0 0 0 0	+ 9	81
8	+ + + + +	+ + + 0 0	0 0 0 0 0	+ 8	64
9	+ + + + +	+ + 0 0 0	0 0 0 0 0	+ 7	49
10	+ + + + +	+ 0 0 0 0	0 0 0 0 0	+ 6	36
11	+ + + + +	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	+ 5	25
12	+ + + + 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	+ 4	16
13	+ + + 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	+ 3	9
14	+ + 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	+ 2	4
15	+ 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	+ 1	1
16	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0	0
17	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 −	− 1	1
18	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 − −	− 2	4
19	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 − − −	− 3	9
20	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 − − − −	− 4	16
21	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	− − − − −	− 5	25
22	0 0 0 0 0	0 0 0 0 −	− − − − −	− 6	36
23	0 0 0 0 0	0 0 0 − −	− − − − −	− 7	49
24	0 0 0 0 0	0 0 − − −	− − − − −	− 8	64
25	0 0 0 0 0	0 − − − −	− − − − −	− 9	81
26	0 0 0 0 0	− − − − −	− − − − −	− 10	100
27	0 0 0 0 −	− − − − −	− − − − −	− 11	121
28	0 0 0 − −	− − − − −	− − − − −	− 12	144
29	0 0 − − −	− − − − −	− − − − −	− 13	169
30	0 − − − −	− − − − −	− − − − −	− 14	196

Voici la méthode que j'ai employée. Lorsqu'on veut calculer les nombres directement, on arrive à des expressions très compliquées. Mais on peut faire le calcul graphiquement en suivant une certaine spire, en divisant la période en 60 parties égales, par exemple, et en notant la force électromotrice à chaque instant. Chaque spire donne ainsi une série verticale de 60 chiffres. Lorsqu'on désire la force électromotrice totale d'une bobine, il suffit d'additionner les chiffres d'une série horizontale. La tension moyenne est la racine carrée de la somme des carrés des différentes forces électromotrices. En effectuant la même opération pour une seule spire, on obtient la force électromotrice de cette spire qui, multipliée par le nombre de spires, donne la puissance maxima possible avec la disposition des pôles et de l'enroulement adoptée.

Dans le tableau III, ce calcul est effectué

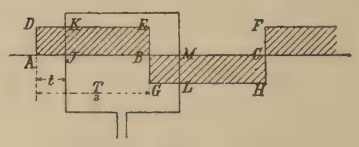


Fig. 2

pour le cas V. Il suffit de considérer 30 divisions, parce que pour les 30 autres les mêmes chiffres se répètent avec des signes opposés.

La force électromotrice d'une spire est égale à + 1, à 0 ou à — 1, le champ étant supposé uniforme.

$$E^2 = \Sigma\ (\Sigma\, e)^2) = 2275$$

$$E = \sqrt{\frac{2275}{30}} = 8{,}71.$$

Pour déduire de cette valeur le nombre x nous nous servons des considérations suivantes.

Dans le cas I, le flux total traversant la spire au temps t est, comme le montre la figure 2, égal à l'aire du rectangle J K E B moins l'aire du rectangle B M L G, les lignes de force ayant dans ces deux rectangles des directions opposées. En formule le flux total Q m est donc représenté par

$$Qm = QM\left(\frac{\frac{T}{2} - t}{\frac{T}{2}} - \frac{t}{\frac{T}{2}}\right)$$

$$Qm = QM\left(1 - \frac{4t}{T}\right),$$

si Q M est le flux traversant la surface A B E D.

Pour en tirer la force électromotrice due au déplacement de la spire, il faut différencier $Q\,m$ par rapport à t, et multiplier ensuite par le nombre de spires (ici $p = 1$), et pour obtenir des volts, par 10^{-8}. Par ce moyen l'on obtient

$$E = 10^{-8} p \frac{d\,(Q\,m)}{dt} = -10^{-8} p\,Q\,M\,\frac{4}{T},$$

$$E = -10^{-8}\,4\,Q\,M\,n,$$

où n est le nombre d'alternativités par seconde. D'après la méthode précédemment décrite, on obtient pour le carré de la force électromotrice à chaque temps A soit 1, soit — 1, donc pour racine 1. On a donc

$$E = 1 = -10^{-8}\,4\,Q\,m\,n,$$

d'où

$$Q\,m\,n = \frac{1}{4}\,10^{8},$$

si nous faisons abstraction du signe. Dans la formule générale pour la tension

$$E = x\,p\,Q\,M\,n\,10^{-8},$$

on peut donc substituer pour les cas I et III,

$$Q\,M\,n = \frac{1}{4}\,10^{8}.$$

Si l'on ne compte pas les spires, mais les fils actifs, l'on a $p = 2$, et pour le cas I

$$1 = x.\,2.\,\frac{1}{4},$$

où $k = 2000$, comme l'indique M. Kapp. Dans les cas IV et V

$$Q\,M\,n = \frac{1}{8}\,10^{8},$$

parce qu'on a supposé que l'induction M est toujours la même et que les pôles n'ont comme surface que la moitié de Q. Nous avons trouvé pour le cas V le nombre 8,71 ; on aurait donc pour 30 fils

$$0{,}71 = x\,30.\,\frac{1}{8}.$$

$$x = 2{,}32.$$

De plus, si l'on calcule la force électromotrice pour une spire dans le cas V, on obtient

$$\sqrt{\frac{15}{30}} = 0{,}707.$$

Tandis que pour la bobine la puissance maxima est de 8,71, elle devient pour le mode de couplage idéal de

$$15 \times 0{,}707 = 11{,}2.$$

Le rapport des deux est

$$\eta = \frac{8{,}71}{11{,}2} = 0{,}82.$$

Les nombres du tableau montrent que pour le courant alternatif on rencontre toujours une difficulté, le rendement η de l'enroulement étant toujours faible lorsque toute la surface de l'induit est couverte de fil. Si dans les cas II et III on enlève la moitié des fils, la puissance ne tombe que de

$$1{,}160 \text{ à } \frac{1}{2} \times 1{,}635 = 0{,}8175,$$

ou de 100 à 70,5 o/o, parce que le rendement est dans ce dernier cas beaucoup plus considérable.

Si l'on passe du cas IX, où les trois rainures contiennent du fil, au cas VIII, où chaque troisième rainure ne reçoit pas de fil, la puissance ne tombe que de

$$1{,}63 \text{ à } \frac{2}{3} \times 2{,}12 = 1.41,$$

soit de 100 à 86,7 o/o.

Par contre, dans le cas des courants polyphasés (X), l'enroulement est utilisé en son entier, parce que ses trois parties fonctionnent indépendamment les unes des autres. Le rendement du cas IX est au rendement du cas X comme 2 est à 3.

J'ai fait quelques expériences relatives à la réaction de l'induit sur le champ inducteur. La réaction était relativement faible et à peu de chose près la même avec le courant continu et avec les courants polyphasés. Avec une machine à courants alternatifs la réaction de l'induit était plus considérable; dans le cas des courants alternatifs la puissance disponible est donc encore plus faible que ne l'indiquent les nombres du tableau. On peut conclure de ces expériences qu'une machine à courants alternatifs ne peut fournir que les 2/3 de la puissance que donne une machine à courant continu de même poids, tandis qu'une machine à courants polyphasés présente à peu près la même capacité spécifique. Dans certains cas même, une machine à courants polyphasés peut débiter plus par unité de poids qu'une machine à cou-

rant continu, à la condition qu'il n'existe pas de self-induction dans le circuit extérieur.

A. H.

REVUE DES TRAVAUX

RÉCENTS EN ÉLECTRICITÉ

Une modification nécessaire de la loi d'Ohm, par M. Fernando Sanford (1).

Dans le courant de l'année dernière, je me suis occupé d'une série d'investigations qui semble mettre en question la validité de la loi d'Ohm, en montrant que la résistance d'un conducteur métallique varie avec la nature du diélectrique se trouvant dans son champ. Pour m'assurer de ce fait, j'ai opéré un grand nombre de mesures de la résistance d'un fil de cuivre dans différents diélectriques, et j'ai trouvé que dans plusieurs cas l'altération de la résistance dans des diélectriques liquides ou gazeux est très marquée.

L'appareil employé consiste en un tube de cuivre d'environ 1,20 m. de longeur et de 2,5 cm. de diamètre intérieur, fermé par des plaques de cuivre, et dans l'axe duquel est tendu un fil de cuivre de 1 millimètre de diamètre. Le tube est muni de robinets pour son remplissage et d'une ouverture pour l'introduction d'un thermomètre. Le courant, qui était toujours maintenu entre 5 et 8 milliampères, arrivait par tube et retournait par le fil, de sorte que tout le diélectrique contenu dans le champ pouvait être changé à volonté. Les mesures étaient faites au pont de Wheatstone avec un rapport des bras de 1 à 1000. Une variation de résistance de 0,1 ohm dans la boîte, correspondant à 0,0001 ohm dans le fil, produisait une déviation appréciable du galvanomètre.

La résistance du tube et du fil fut mesurée dans l'air à différentes températures, et la courbe des résistances en fonction des températures fut tracée. Cette courbe ne s'éloignait pas sensiblement d'une ligne droite. Ensuite on versait dans le tube le diélectrique à essayer, et l'on faisait une série de mesures aux mêmes températures, puis on reprenait les mesures avec le fil dans l'air. Ces opérations étaient effectuées à différentes reprises afin de s'assurer si la résistance revenait toujours à la même valeur dans le même milieu. Dans le cas de l'air et du pétrole, cette comparaison fut prolongée pendant un mois en changeant de diélectrique à cinq reprises différentes (courbes de la figure 1). La résistance du fil plongé dans le pétrole était inférieure de 0,00006 ohm à ce qu'elle était dans l'air, et comme la résistance totale du tube et du fil était en moyenne de 0,0335 ohm, cette différence correspond à 0,18 o/o de la résistance totale.

En prenant pour unité la conductibilité du fil

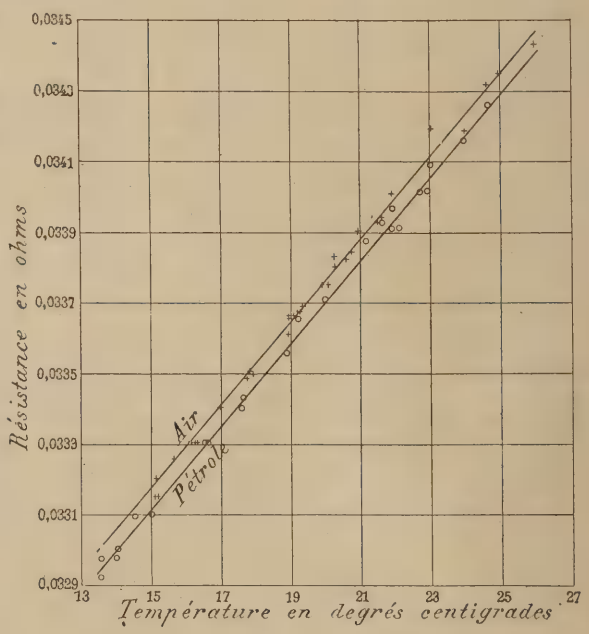


Fig. 1

dans l'air, sa conductibilité dans les diélectriques liquides essayés était représentée par les nombres suivants :

Pétrole	1,0018
Mélange de sulfure de carbone et de térébenthine	1,0009
Sulfure de carbone, incertain, en apparence	1 +
Alcool méthylique	0,9998
Benzine	0,9994
Alcool méthylique et benzine	0,9985
Alcool absolu	0,9981
Alcool méthylique et pétrole	0,9973
Eau distillée, incertain, en apparence	1 —

On voit qu'en mélangeant deux diélectriques la résistance du fil augmentait beaucoup, comme dans le cas de l'alcool méthylique avec la ben-

(1) *Philosophical Magazine*, n° 212, p. 65, janvier 1893

zine, et de l'alcool méthylique avec le pétrole. Ces liquides se diffusent l'un dans l'autre, comme on a pu le voir en mesurant leurs indices de réfraction avant et après leur contact.

Une variation analogue de la résistance était observée quand le tube contenait différents diélectriques gazeux. En se servant du gaz d'éclairage obtenu par l'aération de la gazoline, on observa une différence de résistance de 0,000058 ohm. D'après ces mesures la résistance du fil dans la gazoline mélangée d'air était de 1,0017 fois la résistance dans l'air (courbes de la figure 2).

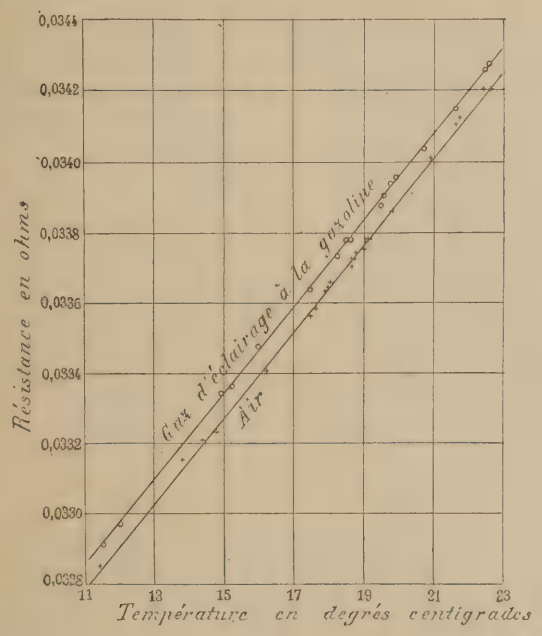


Fig. 2

Avec les vapeurs de divers liquides on observa les conductibilités suivantes :

Vapeur d'alcool	0,99949
Vapeur de chloroforme	0,99830
Gaz d'éclairage à la gazoline	0,99820
Vapeur d'éther sulfurique	0,99750
Vapeur de sulfure de carbone, approximativement	1
Air raréfié, moins de	1

Quelques particularités observées rendent vraisemblable que seule la partie du diélectrique directement en contact avec le fil influe sur la résistance de celui-ci. Ainsi après avoir jeté le pétrole que contenait le tube et avant que tout le liquide adhérent aux parois fut évaporé, les mesures donnèrent la même résistance qu'avec le tube rempli de liquide. Ce n'est qu'après séchage complet que la résistance revenait à sa première valeur dans l'air. Dans le cas de la vapeur d'éther, ce phénomène était très net. Il fallait laver le tube à l'alcool et le laisser sécher pendant plusieurs heures pour retrouver la valeur de la résistance dans l'air.

Je continue actuellement ces recherches en me servant d'un fil d'argent de la même dimension que le fil de cuivre. En général, la différence de résistance avec les diélectriques mentionnés est moins marquée que dans le cas du cuivre, mais elle est encore appréciable. La plus grande variation est obtenue, comme dans le cas du cuivre, avec la vapeur d'éther ; mais avec le fil d'argent la résistance est diminuée dans la vapeur d'éther, tandis qu'elle est augmentée avec le cuivre.

Il m'a été impossible jusqu'ici de trouver une relation entre ces phénomènes et les autres propriétés des diélectriques, mais il semble démontré que la loi d'Ohm devra être modifiée de façon à tenir compte de la nature du diélectrique entourant le conducteur, de même que la nature du conducteur lui-même.

Les mesures qui servent de base à ces conclusions sont publiées en détail dans un mémoire intitulé : « Quelques observations sur la conductibilité d'un fil de cuivre dans différents diélectriques ».

A. H.

Sur la mesure de la puissance dans les courants polyphasés, par M. A Blondel [1].

Je me propose ici d'indiquer, sans aucune hypothèse restrictive, l'expression de la puissance dans le cas général des courants polyphasés. Considérons n conducteurs, AA', BB', CC',... (fig. 1) aboutissant aux n bornes A, B, C..., etc. d'un appareil dans l'intérieur duquel les circuits peuvent affecter une forme quelconque plus ou moins compliquée ; ces conducteurs, qu'on peut appeler *conducteurs principaux*, sont parcourus par un nombre quelconque de courants indépendants et suivant des lois quelconques.

Désignons, à chaque instant t, par i_a, i_b..., etc. les intensités dans chacun d'eux, et par v_a, v_b... etc. les potentiels aux bornes A, B, C..., etc.

[1] *Comptes rendus*, 9 janvier 1892.

La somme *algébrique* des courants dans les n conducteurs est nulle à chaque instant :

$$\Sigma\, i_a = 0$$

L'énergie dépensée pendant le temps dt par chaque courant i_a est égale au produit de la quantité d'électricité qui disparaît $i_a\, dt$ par le potentiel correspondant v_a. La puissance instantanée des n courants est donc :

$$p = \Sigma\, i_a v_a. \qquad (1)$$

Au lieu des potentiels absolus, on peut introduire les différences de potentiel entre les bornes et un même point M quelconque (ayant pour potentiel v), grâce à l'identité

$$\Sigma\, i_a v = v\, \Sigma\, i_a = 0,$$

qui permet d'écrire immédiatement

$$p = \Sigma\, i_a (v_a - v). \qquad (2$$

Supposons qu'il s'agisse de courants alternatifs

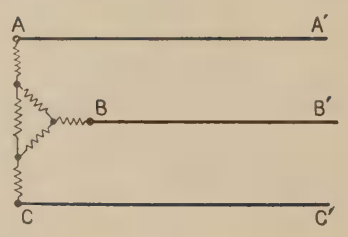


Fig. 1

polyphasés : alors les intensités et les tensions sont toutes des fonctions périodiques admettant une même période T. La puissance moyenne sera donc

$$P_m = \frac{1}{T}\int_0^T P\, dt = \Sigma\, \frac{1}{T}\int_0^T i_a (v_a - v)\, dt. \qquad (3)$$

Pour la mesurer pratiquement il suffira de déterminer, à la façon habituelle, à l'aide d'un wattmètre ou par les autres méthodes connues, chacune des puissances partielles

$$\frac{1}{T}\int_0^T i_a (v_a - v)\, dt,$$

et d'additionner les n lectures algébriquement.

Dans toutes ces mesures, il faut en outre choisir le point commun M de façon qu'aucune des liaisons successivement introduites ne modifie les valeurs relatives des potentiels v_a, v_b... et v, et la répartition des courants.

Ce résultat ne peut être obtenu qu'en prenant M sur le réseau lui-même ou sur une dérivation spéciale invariable, suivant l'un des deux procédés suivants :

1° *Point commun* M *sur le réseau.* — Si les mesures sont faites à l'aide d'un électromètre, par la méthode de M. Potier ou par les méthodes analogues, il n'y a aucune liaison nouvelle introduite entre le point M et les bornes A, B, C..., mais on intercale successivement dans chaque conducteur principal une résistance additionnelle susceptible de modifier la répartition des courants; on devra donc rétablir la symétrie par l'introduction de résistances équivalentes dans tous les conducteurs.

Si, comme cela est préférable ici, on emploie un wattmètre à deux bobines, type Zipernowsky, on fera dans chaque mesure passer l'un des

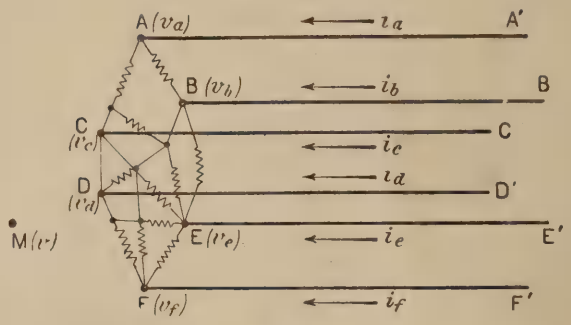


Fig. 2

courants i_a dans la bobine à gros fil, en même temps qu'on intercalera la bobine à fil fin entre la borne correspondante A et le point M choisi. Pour éviter que cette dérivation ne modifie sensiblement les potentiels, il suffira de lui donner, comme avec les courants alternatifs simples, une résistance morte assez grande pour que le courant dérivé soit très faible à côté de ceux sur lesquels il se greffe (et pour que le décalage du courant dérivé soit négligeable).

Pour réduire à $n - 1$ seulement le nombre des mesures, il convient de prendre comme point commun l'une des bornes mêmes de l'appareil, A par exemple. On a alors

$$p = (v_b - v_a)\, i_b + (v_c - v_a)\, i_c + \ldots\ldots \text{ etc}, \qquad (4)$$

expression qu'on aurait pu obtenir directement en considérant le conducteur A A' comme le retour des $n - 1$ autres.

2° *Point commun* M *au centre d'une dérivation*

étalée. — Cette dérivation s'obtient en établissant, entre les bornes et un point extérieur quelconque M (fig. 2), n circuits A M, B M..., formés chacun d'une même résistance morte considérable R.

Si les n mesures sont faites à l'aide de l'électromètre, on n'introduira aucune liaison nouvelle entre M et les bornes et la seule cause d'erreur restera celle que j'ai signalée plus haut.

Si on emploie au contraire le wattmètre, il suffira d'intercaler la bobine à fil fin successivement dans chaque branche de la dérivation étoilée, en ayant soin que la résistance choisie R soit suffisamment grande et en intercalant un besoin dans chaque dérivation une bobine égale à celle du wattmètre.

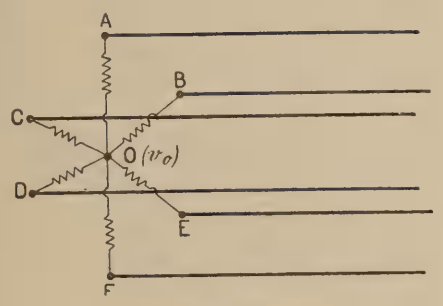


Fig. 3

Cette seconde méthode est néanmoins beaucoup plus compliquée que la première et je l'indique seulement à cause de son intérêt théorique et de la forme très symétrique qu'elle permet de donner à la puissance. En effet, les courants dans chaque dérivation ont pour valeurs instantanées $\frac{v_a - v}{R}$, $\frac{v_b - v}{R}$ etc., et comme leur somme algébrique au point M est identiquement nulle, on a

$$\Sigma (v_a - v) = 0 \qquad \text{d'où} \qquad v = \frac{1}{n} \Sigma v_a.$$

La puissance peut donc s'écrire

$$p = \Sigma i_a \left(v_a - \frac{1}{n} \Sigma v_a\right). \tag{5}$$

Pour simplifier les mesures, on peut toujours imaginer un instrument capable de donner la puissance au moyen d'une seule lecture ; il suffit pour cela de constituer un wattmètre comprenant n ou $n - 1$ paires de bobines indépendantes (n'ayant pas d'induction mutuelle sensible), et de fixer toutes les bobines mobiles sur un axe commun, dont le couple de torsion se mesure à la manière habituelle.

Les formules de puissance récemment indiquées pour les courants triphasés, et démontrées seulement au prix de certaines hypothèses sur la forme du circuit (fig. 3), ne sont que des cas particuliers de la formule générale (2).

En effet, en réduisant à 3 le nombre des conducteurs, la formule (5) devient

$$p \quad i_a \left(v_a - \frac{v_a + v_b + v_c}{3}\right) + i_b \left(v_b - \frac{v_a + v_b + v_c}{3}\right) + i_c \left(v_c - \frac{v_a + v_b + v_c}{3}\right), \tag{6}$$

ou, si l'on désigne par e_α, e_β, e_γ, les différences de potentiel entre les conducteurs principaux deux à deux, c'est-à-dire

$$e_\alpha = v_a - v_b; \qquad e_\beta = v_b - v_c; \qquad e_\gamma = v_c - v_a,$$

on peut écrire

$$p = \frac{1}{3} \left[i_a (e_\alpha - e_\gamma) + i_b (e_\beta - e_\alpha) + i_c (e_\gamma - e_\beta)\right] \tag{7}$$

formule indiquée par M. Gœrges et qui est comme on le voit plus compliquée que celle (6) d'où on la déduit, puisqu'elle demande six mesures au lieu de trois.

En second lieu, l'expression (4) devient ici

$$p = i_b (v_b - v_a) + i_c (v_c - v_a), \tag{8}$$

formule indiquée récemment par M. Behn-Eschenburg, puis par M. Aron. La démonstration précédente est plus générale que celles données jusqu'ici, puisqu'elle ne suppose rien sur la forme des circuits d'utilisation ; elle s'applique en particulier tout aussi bien aux courants diphasée à trois fils qu'aux courants triphasés.

Les lois électriques et la chimie, par M. J. Vislicenus.

A l'occasion du 25e anniversaire de la fondation de la Société chimique de Berlin, un des plus illustres représentants de la science allemande, M. Vislicenus, a dans un discours sur la marche des idées de philosophie chimique depuis vingt-cinq ans, rappelé l'heureux concours

des lois électriques pour étudier les difficiles problèmes de dynamique chimique; les causes et les lois des réactions ont été en effet élucidées en particulier par l'étude des conductibilités électriques qui ont permis en outre de doter la chimie d'une nouvelle méthode de détermination des poids moléculaires.

« L'étude des conductibilités de nombreux électrolytes, dit M. Vislicenus (1), ayant montré que la conductibilité augmente avec la dilution des solutions et que l'augmentation est proportionnellement moindre pour les acides et les bases les plus puissants, on disposait ainsi d'un nouveau moyen de mesurer l'énergie de combinaison relative des électrolytes acides et basiques, de leur affinité suivant l'acception moderne de ce mot.

Les résultats déduits de la connaissance des concentrations correspondant à des conductibilités égales vinrent confirmer les conclusions d'autres méthodes précédemment appliquées à la mesure de l'affinité.

Malgré leur intérêt propre, ces faits auraient à peine mérité une mention spéciale dans cette revue d'ensemble des progrès de la philosophie chimique; par leur nature même, les méthodes électrolytiques s'appliquent à un nombre assez restreint de composés chimiques; elles ne sont pas susceptibles de généralisation et ne peuvent convenir au but visé.

Tout autre devint leur importance lorsqu'on rapprocha les résultats fournis par la méthode des conductibilités des déterminations des poids moléculaires des mêmes dissolutions d'électrolytes, par les méthodes fondées sur les modifications des points de congélation et d'ébullition (lois de Raoult). On reconnut alors que le nombre des molécules présentes s'accroît avec la dilution proportionnellement à l'augmentation de la conductibilité, et que celle-ci atteint, à la limite, une valeur proportionnelle au nombre des ions supposés libres, provenant de la complète dissociation des molécules primitives.

Telle est, du moins, l'interprétation que la théorie de la dissociation électrolytique a tirée des faits; elle admet que les substances décomposables par le courant, en se dissolvant dans les liquides conducteurs, se scindent en leurs éléments électrolytiques, en ions libres chargés d'électricités contraires. Cette théorie a éclairé d'une vive lumière nombre de phénomènes jusqu'alors obscurs et ouvert une nouvelle mine à l'esprit d'investigation. Le filon est loin d'être épuisé, et l'espoir des chercheurs n'est peut-être pas chimérique d'arriver avec ces nouvelles lois électriques, à mettre au jour de nouveaux secrets de la nature. »

Comme le fait remarquer l'orateur, la grande majorité des chimistes fait encore des réserves, au sujet de ces lois, et avant de s'imposer elles devront soutenir sur le terrain des faits et de l'observation exacte de rudes combats.

Néanmoins, un grand courant d'idées entraîne les savants vers ces suggestives études de chimie physique; un journal, le *Zeitschrift für physicalische Chemie*, est spécialement destiné à ces recherches et à ces spéculations, et notre journal d'électricité, qui a déjà publié les belles recherches d'Arrhénius et de tant d'autres sur les applications de l'électricité à la chimie pure et philosophique, devait à ses lecteurs d'en constater l'importance, reconnue dans un jubilé d'une grande société savante étrangère.

A. R.

(1) *Moniteur Quesneville*, janvier 1893.

Sur quelques phénomènes lumineux provoqués dans l'air raréfié par la décharge électrique traversant un conducteur continu, par J. Vicentini (1).

Dans une note précédente (2), j'ai décrit les phénomènes lumineux qui se produisent lorsqu'une décharge électrique traverse des conducteurs renfermés dans l'air raréfié. Dans cette nouvelle note, je voudrais insister sur les caractères de ce genre de décharge, et décrire les faits nouveaux que j'ai pu observer.

Un des phénomènes qui me semblent mériter d'être remarqués, c'est que toutes les fois que le conducteur enfermé dans un récipient à air raréfié est parcouru par une décharge et que l'air devient lumineux, *quel que soit le degré de raréfaction, on n'observe aucun phénomène de stratification*, du moins, dans les conditions de toutes mes expériences.

Un autre fait que j'ai observé, c'est que, spécialement aux raréfactions avancées, la décharge qui traverse le conducteur *produit des phénomènes de phosphorescence quel que soit le pôle de*

(1) *L'Elettricista*, octobre 1892, p. 239.
(2) *La Lumière Electrique*, t. XLV, p. 539.

la machine électrique auquel on établisse la plus grande distance explosive.

Afin de répéter les expériences dans les conditions les plus simples possibles, j'ai voulu séparer les appareils employés de la machine pneumatique pour discerner l'action de l'air de ses tubes qui est toujours en contact avec la grande masse de mercure dont ils sont remplis.

C'est ce que j'ai fait avec l'appareil à fil rectiligne décrit dans ma première note. En le mettant en communication avec une des tiges de l'excitateur Hertz et en fixant le ballon par sa troisième tubulure (celle qui est normale au fil) dans les pinces d'un support de Bunsen, j'ai reconnu qu'avec un sens déterminé du courant excitateur, *il se forme sur les parois du ballon une zone équatoriale d'intense phosphorescence.*

Si l'on suspend le ballon avec un fil de soie, cette zone n'apparaît pas. Il suffit alors de toucher sa paroi extérieure en un point quelconque pour qu'autour de celui-ci et suivant un plan parallèle il se forme une zone de brillante phosphorescence.

Si l'on renverse le courant excitateur de la bobine, ces phénomènes ne se produisent plus; seulement, il suffit de toucher le ballon pour qu'il se forme sur la paroi opposée une tache brillante de phosphorescence. Pour mieux éclaircir ce phénomène, j'ai eu recours à un des tubes ordinaires de Crookes à quatre électrodes : trois fils et un disque. J'ai laissé le premier isolé tandis que j'ai relié le dernier en même temps avec les deux pôles des conducteurs entre lesquels sont ordinairement insérés les appareils que j'ai jusqu'ici considérés. Voici les phénomènes que j'ai observés en employant la machine avec les grands condensateurs.

Grande étincelle à l'électrode négative. — On observe des éclairs dans l'intérieur du tube, au moment de la petite étincelle de charge; au moment de la décharge principale, il se forme une tache brillante de phosphorescence sur la paroi opposée du disque.

Si l'on touche le ballon, il se forme, sur la paroi vis-à-vis le point touché une phosphorescence qui correspond à l'étincelle de charge. Au moment de la grande étincelle, cette phosphorescence diminue. Si l'on supprime l'étincelle de charge, on n'observe plus que la formation de la tache projetée par l'électrode au moment de la décharge du circuit.

Grande étincelle à l'électrode positive. — La tache phosphorescente en face de l'électrode se forme plus faible qu'auparavant, mais au moment des petites étincelles; elle disparaît au moment de la décharge.

En touchant le ballon on obtient la phosphorescence sur la paroi opposée pendant la période de charge, tandis que la tache lumineuse projetée se produit au moment de la décharge principale.

En retirant la petite étincelle, la tache disparaît pendant la période de charge; pourtant, en touchant le ballon, on obtient la tache phosphorescente au moment où éclate la grande étincelle.

En intercalant dans le circuit le ballon à fil rectiligne, on obtient des phénomènes analogues; seulement, à cause de la forme du conducteur, la tache phosphorescente projetée directement est transformée en phosphorence diffuse de tout le ballon.

Les phénomènes les plus curieux sont observés en employant le tube cylindrique déjà décrit dans mon précédent mémoire (page 587). Un de ceux-ci s'est manifesté plusieurs fois, mais ensuite, depuis que j'ai rajusté le tube à la machine pneumatique, je n'ai pu réussir à le faire réapparaître.

Voici en quoi il consiste (fig. 1).

Si l'on abaisse la pression à environ 1 millimètre et si l'on touche en *b* le tube tandis que la machine électrique agit avec les petits condensateurs, à chaque décharge du circuit, il se forme entre *b* et *e* une série de globules lumineux qui semblent partir de *b* et se diriger vers *e*. Ce phénomène a été observé à différentes reprises par moi et les personnes qui m'assistaient dans mes expériences; on ne peut donc l'attribuer à une illusion d'optique momentanée. J'ai voulu le décrire, parce qu'il me semble provoqué comme par une décharge lente qu'on peut suivre à l'œil nu dans les gaz raréfiés. Je chercherai ensuite à le reproduire afin de mieux l'étudier, si possible, d'autant plus qu'il me semble se rattacher à une façon d'être spéciale que j'ai observée en employant ce tube à une pression d'environ 3 millimètres.

A cette pression, en employant la machine armée de ses grands condensateurs, on a déjà vu qu'on obtient la magnifique gaine lumineuse de toute l'hélice. Ou bien, à chaque décharge,

quel que soit le signe de l'électrisation de l'hélice, tout le tube se remplit d'un brouillard jaune verdâtre qui dénote une sorte de vibration ondulatoire à l'intérieur du tube.

Cette décharge qui n'a rien de commun avec les phénomènes de phosphorescence, est peut-être rendue visible par l'existence de quelques produits de la décomposition de la cire d'Espagne qui a servi à fixer le tube à la machine, car la première fois que j'ai soudé le tube à la machine, je ne l'ai pas observée.

Ce nouveau phénomène semble provoqué par la décharge diffuse et se manifeste quelques instants après celle-ci.

On peut le prouver en tenant les yeux fermés et en ne les ouvrant que quand on entend éclater l'étincelle excitatrice dans la chambre contiguë; l'œil ne peut ainsi arriver à voir la décharge enveloppante, tandis qu'il peut suivre la

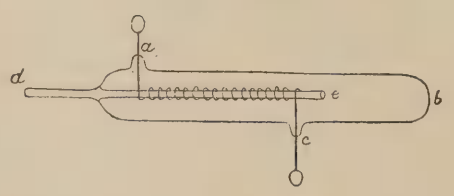


Fig. 1

formation, pour ainsi dire, et la propagation du nuage verdâtre.

En examinant le phénomène avec un miroir tournant dont l'axe est parallèle à celui du tube, toutes les fois que l'image de la décharge enveloppante se forme dans le miroir, on ne peut apercevoir l'image de la décharge verdâtre.

En faisant tourner le miroir avec une grande rapidité, on aperçoit rarement la décharge aveuglante; pourtant on voit toujours très bien l'image de la décharge verte diffuse, sous la forme d'un ruban à bords parallèles, constitué par plusieurs stries lumineuses vertes, séparées par des zones obscures; la strie lumineuse extrême est plus vive et plus étendue.

En regardant directement la décharge, elle paraît prendre naissance aux extrémités de la décharge aveuglante et paraît être réfléchie à l'extrémité du tube, retournant rapidement, pour se porter de nouveau vers la partie centrale.

Le phénomène disparaît lorsqu'on augmente le degré de raréfaction.

Après avoir fait le vide le plus parfait que je pouvais obtenir, j'ai laissé rentrer l'air dans l'appareil; la pression étant revenue à la valeur de 2 millimètres, le phénomène s'est reproduit.

J'ai cherché à photographier ce nouveau genre de décharge. Pour cela, tandis que la pression était de 1,8 mm., j'ai fait agir 30 décharges sur la plaque sensible, mais je n'ai pu obtenir que l'image de la décharge enveloppante.

Après avoir réduit la pression à sa valeur minima, j'ai abandonné l'appareil pendant quatre jours; j'ai ensuite laissé pénétrer une petite quantité d'air; à la pression de 5 millimètres, aux extrémités de la décharge enveloppante, le nuage verdâtre commence à se former; il s'étend lorsque la raréfaction augmente pour reprendre les caractères déjà décrits lorsque la pression est revenue à sa valeur précédente.

Après un mois environ que le tube avait été séparé de la machine pneumatique, et que celle-ci avait été nettoyée, l'acide sulfurique pur concentré de son appareil desséchant remplacé, j'ai encore obtenu la décharge diffuse verdâtre, celle qui se produit toujours dans le tube séparé de la pompe à air en le fondant en *d* lorsque la pression interne était de 2 millimètres.

Un autre fait intéressant à noter, à propos de ce tube cylindrique, c'est que, aux ultimes raréfactions, principalement lorsqu'on emploie les grands condensateurs, il se produit dans le tube, pendant la période de charge du circuit, un fort crépitement, comme si les spires de l'hélice frappaient de coups secs très rapides le tube sur lequel elles sont enveloppées.

Un crépitement analogue, bien que plus faible, se fait entendre avec le ballon à spirale d'aluminium, enroulé sur un tube de verre.

Afin de pouvoir interpréter plus facilement les phénomènes décrits, en particulier ceux de la note précédente, j'ai essayé de nouvelles dispositions qui m'ont conduit à observer d'autres faits de grande importance relativement au sujet que j'étudie.

J'ai employé un tube de verre (fig. 2) de 2,5 cm. de diamètre et d'une longueur de 13 centimètres, rétréci aux deux extrémités A et B, et à l'intérieur duquel est fixé un petit cylindre en toile métallique long de 10,5 cm. et de 1 centimètre de diamètre. Les deux bases de ce cylindre sont formées par deux lames de laiton au centre desquelles sont fixées deux forts conducteurs en cuivre qui émergent aux extrémités du tube de

verre. Le fil de laiton qui constitue le tube métallique a un diamètre de 0,3 mm. et la maille a 1 millimètre de côté, y compris l'épaisseur du fil. L'extrémité du tube est en communication avec la machine pneumatique. Les conducteurs de cuivre soudés au cylindre de laiton sont mis en communication avec les pôles du circuit ordinaire, de façon que le conducteur enfermé dans le tube soit, comme d'habitude, à peu près exactement au milieu du circuit traversé par la décharge de la machine.

Quand l'air du tube est à une pression de à peine 10 mm., la machine électrique étant employée sans condensateurs, on observe une faible décharge lumineuse qui remplit l'intervalle existant entre le cylindre métallique et les parois du tube. Si l'on vient à toucher celles-ci, l'intensité de la lumière augmente dans d'assez fortes proportions. Outre cette enveloppe lumi-

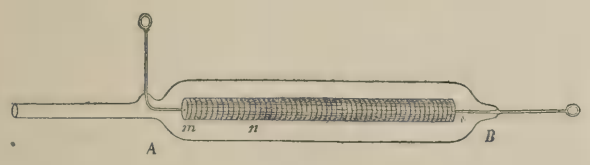


Fig. 2

neuse, il se forme çà et là à la surface du cylindre de nombreux points brillants.

Quand la pression est beaucoup diminuée, le phénomène devient plus brillant et, en touchant le tube, on en provoque la phosphorescence avec projection de l'ombre du réseau métallique.

Dans ces dernières conditions de pression, une partie de l'espace circonscrit par le cylindre métallique devient lumineux.

Avec la grande étincelle au pôle négatif, et une pression de 0,2 mm., la partie interne *mn*, devient seule lumineuse; il se forme un cône qui part de la base *m* du cylindre et qui se termine en *n*. L'espace restant dans l'intérieur du cylindre manifeste seulement un faible éclair. La luminosité entre le cylindre et le tube est faible et, comme à l'ordinaire (dans ces conditions de pression), les tubes de la machine sont fortement lumineux. Un point qu'il ne faut pas omettre de signaler, c'est la formation d'un pinceau de lumière assez fin, qui part d'un point de la surface extérieure du cylindre à proximité de la base *m* et qui va frapper la paroi en regard, en y provoqunt une tache phosphorescente très brillante.

A une raréfaction encore plus avancée (0,04 à 0,05 mm.), outre la luminosité interne du réseau, il se produit une belle phosphorescence de l'extrémité A du tube. Le pinceau lumineux se voit à peine, mais la tache brille très vivement.

Il est évident qu'en raison de la faible distance entre la surface du cylindre métallique et la surface interne du tube de verre, le phénomène ainsi décrit doit être très influencé par l'électrisation du verre; et la luminosité intérieure du cylindre métallique ne peut être bien étudiée, en raison du faible diamètre de ce cylindre.

J'ai, pour cela, modifié les conditions de l'ex-

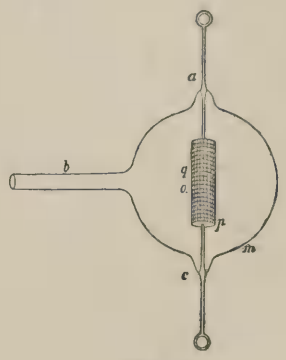


Fig. 3

périence en employant un ballon à trois tubulures (fig. 3). J'ai fixé dans celui-ci, suivant un de ses diamètres, au moyen de conducteurs de cuivre, un cylindre fait avec la même toile métallique que le premier, mais dont le diamètre avait 1,5 mm. et la longueur 5 centimètres.

Avec cette disposition, les phénomènes ordinaires se reproduisent lorsque la pression est tombée à quelques millimètres; on a des phénomènes lumineux semblables à ceux que nous avons décrits pour le tube précédent, mais beaucoup plus beaux et variés encore par l'existence de la tubulure latérale en communication avec la machine pneumatique.

Je décrirai d'abord ce qu'on observe en électrisant positivement le conducteur, ou, pour mieux dire, avec la plus grande distance explosive au pôle négatif de la machine électrique non armée.

Tous les tubes de la pompe à air deviennent lumineux (rouge pourpre), et il semble que la luminosité du tube *b* se répand dans l'intérieur du ballon. En même temps, presqu'en face de la tubulure *b*, au point O de la surface du cylindre, il se forme une touffe très brillante, qui change quelquefois de place, se portant vers le haut, en *q*, et plus rarement en bas. Dans la partie opposée du cylindre, on voit des petits pinceaux lumineux beaucoup plus faibles. *L'intérieur du tube de toile métallique devient fortement lumineux*, et l'œil a l'impression que la décharge intérieure se forme dans les points *a q*, dans lesquels apparaît la touffe lumineuse qui retourne dans la tubulure *b*. La luminosité de l'intérieur du cylindre est plus violacée que celle des tubes de la machine.

Le phénomène change d'apparence si l'on touche le ballon en un point quelconque. Dans ce cas, le pinceau *o* ou *q* et la luminosité entre *b* et le cylindre disparaissent, et il se produit dans la partie du point touché un nouveau pinceau, dont la direction est normale à la surface du cylindre ; si le point touché est tel que le petit cercle correspondant ne coupe pas le cylindre (comme le point *m*, par exemple), le pinceau lumineux se forme toujours sur la surface latérale du cylindre (en *p* si le point touché est *m*), et jamais sur la base du cylindre ou sur le conducteur de cuivre. Il change aussi parfois de position, mais assez peu, cependant.

Un fait qui mérite attention, c'est que durant la dérivation à la terre d'un point quelconque du ballon, tous les tubes de la machine perdent leur luminosité.

Grande étincelle au pôle positif. — Le phénomène présente une apparence assez différente dans ce cas; les tubes de la machine ne sont lumineux qu'à moitié ; tout autour du cylindre de toile métallique, il se forme une gaine lumineuse diffuse qui, dans la partie du tube *b*, est plus étendue et plus intense; tout autour des conducteurs (cylindre et fils rectilignes de cuivre), on voit une légère et fine gaine plus lumineuse, tandis que du centre des bases du cylindre partent comme deux nappes lumineuses en forme d'ombrelle à bords renversés. La partie de la surface cylindrique du tulle métallique, en face de *b*, est couverte çà et là de points lumineux brillants, semblables à des étoiles; sur la partie opposée se forment en nombre moindre des touffes lumineuses. L'intérieur du cylindre n'est que faiblement lumineux et la plus grande intensité de la lumière intérieure se manifeste au-dessous des points sur lesquels se forment ces touffes.

Si l'on touche le ballon, les phénomènes augmentent d'intensité et la lumière interne du cylindre devient plus distincte.

Il se forme aussi un petit pinceau lumineux fixe en face du point touché, et d'autres se forment çà et là, toujours dans la même partie du cylindre.

Avec l'emploi des petits condensateurs, on obtient à peu de chose près les mêmes effets qu'avec la machine non armée.

Voici maintenant les effets qu'on obtient avec la machine armée des grands condensateurs.

Distance explosive du pôle négatif. — Pendant la période de charge, les phénomènes observés sans condensateurs se reproduisent, mais avec une intensité beaucoup plus grande. Si l'on touche le ballon pendant la charge, l'intérieur du cylindre devient lumineux.

En augmentant la raréfaction, les mêmes phénomènes se répètent à peu de chose près. La tige des pinceaux lumineux s'allonge de plus en plus, tant que ceux-ci doivent se former, on a deux fines barbes lumineuses, dont la direction est toujours normale à la surface du cylindre.

Lorsqu'on atteint une pression de quelques centièmes de millimètre seulement, on n'observe que des phénomènes assez faibles sur lesquels je ne crois pas utile de m'arrêter pour l'instant.

J'ai séparé le ballon de la machine pneumatique à la pression de 0,5 mm. En le fixant à un support de Bunsen par le col *b*, j'ai reconnu les mêmes propriétés que quand il était en communication avec la machine. Les phénomènes ressortent mieux lorsqu'on tient le tube *b* à la main, de façon à augmenter la capacité des parois du ballon.

J'ai cru bon d'exposer exactement ce que j'ai observé sur les appareils à tube de toile métallique, car les phénomènes décrits montrent que *dans l'intérieur d'un conducteur qu'on peut considérer comme fermé il peut se produire des décharges électriques quand ce conducteur est porté dans un gaz raréfié.*

G. P.

FAITS DIVERS

La Nature décrit le rideau électrique du théâtre de la Comédie-Française. Ce système de manœuvre électrique du rideau d'avant-scène a été établi par la compagnie Edison, et il a fonctionné pour la première fois électriquement le 22 novembre 1892 Voici le principe très simple du mécanisme.

Le rideau est supporté par cinq cordages venant s'enrouler sur un tambour qui reçoit son mouvement à l'aide d'une courroie établie sur un moteur électrique. Un contrepoids assure à tout instant l'équilibre Les conducteurs du courant passent dans les coulisses et aboutissent, dans la cage du souffleur, à un cadran de manœuvre. Par la position du levier de commande, il est facile de faire changer le sens de la marche du moteur, et par suite d'obtenir le mouvement du rideau.

Le poids total du rideau est environ de 400 kilogrammes, entièrement équilibré par le contrepoids. Le moteur n'a donc à vaincre que les frottements du système; sa puissance est de deux chevaux.

Suivant les effets de scène à obtenir on a admis trois vitesses différentes à la descente et deux vitesses à la montée. La vitesse maxima de descente est de 1,50 m. par seconde, la vitesse moyenne de 1,10 m., et la vitesse minima de 0,75 m. Les vitesses de montée sont respectivement de 0,75 m. et 1,10 m. par seconde. La course totale du rideau est de 9,60 m.

M. Henri Bagard a étudié l'influence sur les couples thermo-électriques formés par deux électrolytes, de deux solutions d'un même sel, de concentration différente.

Les résultats qu'il a obtenus avec le sulfate de zinc, dont il a préparé cinq solutions aqueuses renfermant respectivement 5, 15, 25, 35 et 45 grammes de sel dans 100 grammes de la solution, montrent que, pour une température donnée, la force électromotrice est d'autant plus grande que la différence de concentration est elle-même plus grande.

Dans toutes ses expériences M. Bagard s'est servi de diaphragmes en baudruche, et il a constaté que la nature du diaphragme n'influait pas sur les phénomènes observés, à la condition toutefois que ce diaphragme eût été convenablement préparé et lavé. La baudruche a de plus le grand avantage d'adhérer complètement aux parois de verre.

On sait que la principale objection à l'application des tramways électriques à fil aérien est fondée sur l'aspect peu artistique du système. Même dans des localités comme Charleroi, qui ne présentent déjà par elles-mêmes qu'un aspect peu séduisant, on use de cet argument. Au fond, les adversaires du système à trolley ne sont mus que par des questions d'intérêt; c'est ainsi qu'à Charleroi toutes ces belles raisons ont cédé comme par enchantement devant le paiement d'une somme de 500 000 francs garantie par la compagnie concessionnaire.

L'électrolyse peut servir avec la plus grande facilité à la fabrication du chloroforme. On se sert pour cela de chlorure de sodium et d'acétone.

L'appareil employé se compose, d'après la *Revue de chimie industrielle*, d'une cornue de fonte émaillée, chauffée à la vapeur par un double fond. Un trou d'homme sert à introduire les matières; une tubulure permet le dégagement des vapeurs de chloroforme et d'eau, qui vont se condenser dans un serpentin. Deux plaques de plomb convenablement disposées servent d'électrodes positive et négative. On introduit dans l'appareil 300 litres d'une dissolution à 20 o/o de sel marin. On porte à l'ébullition au moyen de la vapeur, on fait passer le courant, et on amène, d'une manière continue, de l'acétone par un tube; le chloroforme, au fur et à mesure de sa formation, se dégage et va se condenser dans le serpentin. Lorsqu'on a fait couler 60 kilog. d'acétone, c'est-à-dire après deux heures, on arrête l'opération.

Le liquide contenu dans le condenseur est en deux couches; la partie inférieure du chloroforme pur, et la partie supérieure de l'eau mêlée d'un peu d'acétone. Cette eau sera employée pour dissoudre le sel marin dans une seconde opération. Le chloroforme ainsi fabriqué ne renferme aucun des composés chlorés étrangers qui troublent souvent la pureté du chloroforme préparé de la manière ordinaire.

Le rendement est exactement de 190 o/o du poids de l'acétone employé. On a modifié l'appareil ci-dessus et on a remplacé l'électrode positive en charbon par un arbre vertical sur lequel sont disposées en quinconces des baguettes de charbon en communication avec le pôle positif de la dynamo; cet arbre tourne et sert d'agitateur. L'électrode négative est formée par un cylindre en cuivre qui se place parallèlement aux parois verticales de la chaudière. Le reste est comme ci-dessus et l'opération se conduit de même.

Ajoutons que le rendement n'est pas plus élevé dans cet appareil que dans le premier.

Voici comment d'après la même revue on prépare du vermillon par l'électrolyse.

Dans une cuve en bois de 1 mètre de diamètre et de deux mètres de hauteur, on place des plateaux circulaires contre la paroi interne, de 15 centimètres de largeur, sur lesquels on étale le mercure sur une hauteur de 1 centimètre. Ces plateaux sont en relation avec le pôle positif d'une dynamo. Au fond de la cuve se trouve une plaque

de cuivre aciérée par la galvanoplastie et en communication avec le pôle négatif. La cuve est remplie d'une dissolution de 8 o/o d'azotate d'ammoniaque et 8 o/o d'azotate de soude. Un serpentin percé de trous envoie un courant constant et réglé d'acide sulfhydrique; l'excès de ce gaz s'échappe par un tuyau aboutissant sur le couvercle. Un agitateur à hélices entretient un mélange parfait entre toutes les parties du liquide.

Lorsque le courant passe, il se forme immédiatement un précipité rouge de sulfure de mercure ou vermillon.

On a essayé de supprimer le courant d'acide sulhydrique en composant le bain avec :

Eau.....	100 litres.
Azotate d'ammoniaque.....	4 kilog.
Azotate de soude.....	4 —
Sulfure de sodium.....	4 —
Soufre.....	4 —

Dans ces conditions, on n'a besoin que d'ajouter du soufre et du mercure, pour retirer à la fin de l'opération du vermillon qui peut rivaliser avec celui obtenu par le sulfhydrate d'ammoniaque.

MM. Peterson et Kennelly ont fait une série d'expériences intéressantes pour étudier l'action d'un champ magnétique intense sur l'organisme. Quoique ayant employé une intensité de champ de 2000 unités et ayant renversé l'aimantation, ces auteurs n'ont observé aucun effet appréciable. Ce résultat négatif est bon à enregistrer.

Le chemin de fer électrique aérien de Liverpool a été mis à l'essai ces jours derniers, sous la direction de M. Cotrell, directeur de la compagnie. Le résultat de l'essai semble avoir été satisfaisant.

La station centrale contient quatre machines compound horizontales de 400 chevaux, actionnant chacune une dynamo Elwell-Parker. Le courant est amené aux moteurs par un conducteur placé sur isolateurs en porcelaine. Une des caractéristiques de ce chemin de fer est l'application du système Timmis de signaux automatiques actionnés électriquement par les trains.

Aux mines de Grœngesberg, en Suède, on a décidé d'installer une transmission électrique de force motrice. Elle servira à l'extraction des minerais et à élever de l'eau. Les cinq machines à vapeur jusqu'alors employées seront remplacées par des moteurs électriques. On y ajoutera aussi une installation d'éclairage électrique au moyen de 30 arcs et 150 lampes à incandescence. La station centrale sera située à Hællsjœn, où l'on établira quatre turbines de 100 chevaux.

Par l'intermédiaire de ses attorneys, MM. Wetmore et Jennings, de New-York, M. Marcel Deprez a introduit une plainte en contrefaçon contre la compagnie Thomson-Houston. Le plaignant fait valoir les droits que lui confère le brevet qu'il a pris avec M. J. Carpentier, sur la transmission de l'énergie électrique à distance; ce brevet couvre l'emploi des hautes tensions et des transformateurs.

La United States Court est invitée à enjoindre à la compagnie Thomson-Houston de cesser la violation de ce brevet. La décision de la Cour ne peut manquer d'être intéressante.

On continue à s'occuper à New-York de traction par accumulateurs. Une voiture est en ce moment à l'essai dans la Neuvième Avenue. Cette voiture pèse 6 1/4 tonnes; elle est munie de 144 accumulateurs pesant chacun 12 kilog. et présentant une capacité de 140 ampères-heures à un régime de décharge de 25 ampères. Dans la Neuvième Avenue les pentes sont très accentuées, allant jusqu'à 6 o/o. La voiture les gravit aisément et sans ralentir.

L'*Electrical Review*, de New-York, dit que la montée est effectuée en 24 minutes et 5 secondes avec un courant moyen de 31 ampères; la descente s'effectue en 22 minutes et 30 secondes en n'employant que 10 ampères,

La compagnie qui exploite ce système a surtout cherché à perfectionner l'accumulateur; c'est en effet là le point capital dans cette application; les résultats ultérieurs diront si elle y a réussi.

A l'Académie des Sciences, M. P. Bidauld, à propos d'une communication faite au mois d'avril dernier par M. Mallard, sur la présence de diamant dans un fer météorologique, a proposé d'essayer d'obtenir le diamant en chauffant de la fonte ou de l'acier jusqu'à la température de fusion, et en y faisant passer un courant électrique.

La compagnie du chemin de fer du Northern Pacific a l'intention d'organiser avec la compagnie Edison des trains électriques reliant les villes de Saint-Paul et Minneapolis, et empruntant la voie du chemin de fer déjà existant.

Le gouvernement des Etats-Unis vient de prendre la résolution de convoquer un congrès météorologique qui se réunira à Washington pendant la durée de l'Exposition universelle de Chicago. La date n'a point encore été fixée. Nous espérons que le gouvernement français ne se bornera pas cette fois, comme il arrive trop souvent, à faire représenter la France par des savants officiels.

Il serait d'autant plus désirable de consulter les socié-

tés scientifiques libres et notamment les sociétés aéronautiques, que le gouvernement des Etats-Unis voudrait voir déterminer le rôle que les ballons sont appelés à jouer dans la météorologie, question de la plus haute importance, dont le service français a toujours négligé de s'occuper, et à laquelle les physiciens du Bureau Central sont restés forcément étrangers.

L'Institut de physique technique de Berlin établit en ce moment des résistances étalons dans lesquelles le mercure n'a pas besoin d'être renouvelé.

Voici, d'après un article des *Annales de Wiedemann*, résumé par la *Revue scientifique*, le procédé suivi : les tubes en U sont remplis de mercure dans le vide et scellés immédiatement par fusion, de manière à emprisonner trois minces fils de platine reliés respectivement au circuit principal, au circuit secondaire et au galvanomètre. Comme les communications sont réunies d'une façon rigide au verre, il est possible de se servir de fil de platine n'ayant pas plus de 0,3 mm. de diamètre, de sorte qu'il n'y a pas à craindre qu'ils transmettent de la chaleur au mercure,

Le tube, monté dans une boîte perforée en laiton avec couvercle en ébonite, est ensuite immergé dans du pétrole contenu dans une autre boîte en laiton, de façon que les vis de jonction soient recouvertes. Cette boîte est elle-même entourée, pendant l'expérience, d'un mélange de glace pilée et d'eau. La résistance est ainsi prise à une température qu'il est facile de reproduire et qui est uniforme dans tout le récipient.

Une nouvelle application de lampes à incandescence a eu lieu dernièrement au théâtre *New Olympia*, de Londres Dans une pièce, on a représenté sur la scène une constellation d'étoiles. Cet amas se compose de 400 étoiles, représentées par 400 lampes à incandescence groupées en 20 circuits différents Ces 20 circuits se détachent de deux conducteurs émanant des deux pôles d'une pile secondaire du genre lithanode. Les lampes sont d'une faible intensité lumineuse. Somme toute, la quantité totale de lumière versée sur la scène est d'environ 150 bougies. Une disposition spéciale permet d'arrêter la scintillation. Chaque circuit est protégé par un fil fusible.

D'autre part, M. Broughton a disposé un tableau de distribution pour employer des lampes à incandescence de 32 bougies à donner à la mer des signaux d'après le système Morse. Les points sont représentés par 2 bougies, les lignes et les espaces par 12. Le nombre des lampes employées est de 106 et celui des fils nécessaires à leur manœuvre à l'aide du clavier s'élève à plus de 5000. Un exemplaire sera placé à bord du navire de guerre qui figurera à l'Exposition internationale de Chicago.

L'accident arrivé au gouvernail du steamer *Umbria*, par la rupture de son propulseur suggère à l'*Electrical Engineer* du 13 juillet de très utiles réflexions, notre confrère fait remarquer que les grands steamers atlantiques ont des petits moteurs mus par l'électricité dans un grand nombre d'endroits différents, et que par conséquent il leur en coûterait très peu pour se munir de quelques outils, que l'électricité mettrait en action en cas de besoin, et qui permettrait d'effectuer en très peu de temps les réparations nécessitées par toute espèce d'accidents.

Eclairage électrique.

La compagnie d'électricité de Rome devait établir tous ses conducteurs pour l'éclairage privé dans des canalisations souterraines, tandis que les conducteurs pour l'éclairage public devaient être aériens. Environ 40 kilomètres de câbles souterrains ont été posés et sont actuellement en service ; mais quand on a voulu établir les fils aériens, l'administration des postes s'y est opposée par crainte des effets d'induction Tous les câbles seront donc posés en souterrain. Ils seront fournis par une maison allemande.

Une des difficultés qui s'opposent à l'introduction des lampes à incandescence dans les wagons c'est l'effet des vibrations. On nous apprend que l'on a essayé en Amérique d'obvier à cet inconvénient en attachant le filament du verre avec un lien de platine. Le procédé est très grossier et très imparfait. On a fait beaucoup mieux à Paris, sur la ligne de l'Est, et l'on s'apprête à adopter le même principe sur la ligne du Nord. On emploie des lampes à incandescence de faible voltage, mais très courtes, et composées de deux charbons d'un diamètre un peu fort qui butent l'un sur l'autre sans être soudés.

Le contrat pour l'éclairage électrique de la ville de Bruxelles est enfin signé par la Compagnie India Rubber, de Silvertown. Voici quelques renseignements sur l'installation prévue. La caractéristique de ce projet réside dans la distribution ; tous les câbles seront isolés au caoutchouc et logés séparément dans des tuyaux de fonte. La première station aura six unités de 500 chevaux, mais pouvant chacune fournir, au besoin, 625 chevaux. Une batterie d'accumulateurs sera employée ; elle aura une capacité suffisante pour alimenter 1250 lampes de 16 bougies.

L'emplacement de la station sera l'endroit même où se dresse actuellement l'église Sainte-Catherine, près du boulevard Anspach ; cette église doit être démolie au mois de février.

Les chaudières sont multitubulaires, avec 226 mètres carrés de surface de chauffe chacune. Les machines sont du type compound Sulzer, à condensation, construites par Carels, à Gand. Leur puissance normale de 500 chevaux peut etre poussée jusqu'à 625.

Les quatre dynamos sont des machines multipolaires à petite vitesse, commandées par câbles, deux par machine. La distribution adoptée est le système à trois fils.

La station devra pouvoir fonctionner au mois d'octobre prochain. Le courant sera vendu au compteur, et la Compagnie India-Rubber doit diriger l'usine pendant deux années après la réception par la ville.

Télégraphie et Téléphonie.

L'administration des Postes et Télégraphes vient de publier un rapport sur le fonctionnement et l'exploitation des téléphones en France. D'après ce document, il y aurait en France 112 villes pourvues du téléphone urbain et comptant des abonnés. L'ensemble de ces villes, représentant une population de 6 millions d'âmes, constitue la sixième partie de la France. On y compte 18 191 abonnés, soit un abonné sur 300 habitants. Le nombre des abonnés n'était que de 11 400 en 1889, au moment où l'Etat a pris à son compte l'exploitation des téléphones; un an après, le nombre des abonnés avait augmenté du tiers et atteignait le chiffre de 14 547.

Dans ce chiffre, Paris entre pour 9653; ce qui représente plus de la moitié des abonnés de toute la France. Malgré ce nombre énorme, ce n'est pas à Paris que le téléphone est le plus en honneur; à Cannes, on compte un abonné pour 120 habitants, tandis qu'à Paris la proportion n'est que de un abonné sur 253 habitants.

Les villes qui comptent le plus d'abonnés, eu égard à leur population, sont: Saint-Quentin, un abonné sur 292 habitants. Grasse, un sur 292 habitants. Menton, un sur 215 habitants. Sedan, un sur 274 habitants. Reims, un sur 256 habitants. Fourmies, un sur 198 habitants. Roubaix, un sur 294 habitants. Tourcoing, un sur 222 habitants. Paris, un sur 253 habitants.

C'est donc à Cannes, Menton, Grasse, qui comptent beaucoup d'hôtels et de villas, où des familles sont en villégiature, et à Fourmies, Sedan, Reims, Tourcoing, villes industrielles par excellence, qu'il y a le plus d'abonnés.

A Toulouse, Tours, Orléans et dans la banlieue de Paris il y a relativement fort peu d'abonnés.

Le produit total des abonnements téléphoniques a été, en 1891, de 5 574 000 francs. Paris y a contribué pour 3 820 000 francs, soit près des deux tiers.

Quant au produit des cabines publiques de téléphone, où l'on peut converser avec un abonné pour 50 centimes par cinq minutes, il a été de 68 000 francs en 1889, de 100 000 francs en 1890, et de 210 000 en 1891,

Un certain nombre de villes sont reliées entre elles par des fils téléphoniques. Les circuits les plus importants sont ceux de Paris au Havre, à Lyon, à Marseille, à Lille, à Dunkerque, à Reims, à Rouen. Le nombre de circuits interurbains, qui était de 5 en 1885, de 8 en 1886, de 11 en 1887, de 14 en 1888 et de 15 en 1889, s'est élevé subitement à 129 en 1891.

Le nombre des conversations échangées pendant le courant de l'année dernière entre deux villes a été de 224 000, qui ont produit 255 000 francs de recettes.

En outre, sur les lignes de Paris à Londres et à Bruxelles, les conversations s'échangent avec une grande activité. 53000 conversations ont eu lieu entre Bruxelles et Paris en 1891, et 17 000 entre Londres et Paris pendant les neuf derniers mois de la même année. Aujourd'hui, Paris est en communication également avec la Suisse et la principauté de Monaco.

Nous avons dit que les Anglais se proposaient de créer en Afrique des lignes télégraphiques. Voici à ce propos quelques détails donnés par le *Cosmos* :

Le premier ministre de la colonie du Cap, M. Cecil Rhodes, fait la proposition, hardie dans l'état actuel des choses en Afrique, de mettre la ville du Cap en communication télégraphique avec Le Caire, en faisant traverser le continent africain dans toute sa longueur par un fil; ce projet va recevoir un commencement d'exécution.

Une compagnie est en formation à Londres, au capital de 10 millions de francs, qui portera le nom de: African Transcontinental Telegraph Company.

La ligne, longue de 4830 kilomètres, aura son point de départ au terminus actuel du réseau de la British-South Africa Company, à Salisbury, dans le Mashonaland, passera ensuite à travers le Zambèze britannique jusqu'aux grands lacs Nyassa et Tanganika, par le territoire de l'Etat du Congo, traversera enfin l'Ouganda, les anciennes provinces d'Emin-Pacha et le Soudan égyptien pour aboutir à Oudihalfa, extrémité des lignes anglo-égyptiennes.

La dernière partie, à travers les provinces actuellement occupées par les partisans du Madhi, sera d'une exécution au moins délicate; M. Rhodes pense toutefois que l'hostilité éventuelle du Madhi ne résistera pas aux arguments sonnants qu'il se propose de lui offrir.

On estime que ce n'est pas trop risquer que d'aventurer ces dix millions si l'on tient compte des résultats considérables que cette entreprise permettra d'atteindre au point de vue de l'influence civilisatrice sur les nouvelles régions qu'il s'agit d'ouvrir au commerce du monde, et surtout, bien entendu, au commerce anglais.

Imprimeur-Gérant : V. Nory.

Imprimerie de La Lumière Électrique. — Paris
31, boulevard des Italiens.

La Lumière Électrique

Journal universel d'Électricité

31, Boulevard des Italiens, Paris

DIRECTEUR : Dr CORNÉLIUS HERZ

XVe ANNÉE (TOME XLVII) SAMEDI 28 JANVIER 1893 N° 4

SOMMAIRE. — Sur les condensateurs agissant par transformateurs d'induction et directement; Paul Boucherot. — Les lampes à arc; Gustave Richard. — Le bureau de contrôle des installations électriques; Frank Géraldy. — La théorie positive de l'électricité atmosphérique confirmée par des observations et expériences nouvelles; L. Palmieri. — Chronique et revue de la presse industrielle : Electrolyse au mercure Kellner. — Station centrale d'électricité de Mulhouse. — Compteur-moteur Wacker-Schuckert. — Raffinage électrolytique des métaux Placet et Bonnet. — Dynamo à commande directe de la General Electric Co. — Tannage électrique, procédé Pinna. — Canalisation Davis et Crompton. — Caniveaux pour câbles isolés Thornton, Clark et Muirhead. — Revue des travaux récents en électricité : Société française de physique (séance du 20 janvier 1893). — Transformateurs à circuits magnétiques ouverts et fermés, par W.-E. Ayrton et W.-E. Sumpner. — Sur les réseaux de conducteurs électriques. Propriété réciproque de deux branches, par M. Vaschy. — Erreurs d'observation dans la méthode des trois voltmètres, par A. Russel. — Sur la simultanéité des variations magnétiques en des lieux différents et sur une relation entre ces variations et celles des courants terrestres, par M. W. Ellis. — Unités électriques du Board of Trade. — Faits divers.

SUR LES CONDENSATEURS
AGISSANT PAR
TRANSFORMATEURS D'INDUCTION ET DIRECTEMENT.

Dans quels cas y a-t-il intérêt à faire agir les condensateurs par transformation plutôt que directement? Telle est la question que se propose de résoudre cet article.

On sait en effet que si l'on intercale dans un circuit à courants alternatifs le primaire d'un transformateur dont le secondaire est fermé sur un condensateur, le système ainsi formé équivaut à l'intercalation directe d'un condensateur dans le circuit.

Le problème a déjà été traité, et publié je crois, par M. Leblanc, et plus récemment par M. Korda, en ce qui concerne les capacités à employer; aussi ne chercherons-nous qu'à faire la comparaison aux deux points de vue du capital à engager et du rendement entre ce système et l'intercalation directe d'un condensateur.

Je sais qu'il y a quelques doutes à émettre sur l'absolutisme de certaines conventions relatives aux prix des condensateurs en fonction de leur capacité et de leur tension, et qu'il faudrait attendre que ces appareils fussent entrés dans la pratique courante pour que l'on soit en droit de leur attribuer une certitude complète. Mais de là à repousser toute tentative faite pour déterminer l'orientation de nos efforts au moyen de ce que l'on sait, il y a loin; et il faudrait alors renoncer à bien des lois physiques dont nous nous servons tous les jours si on les envisageait avec ce scepticisme, qui sied mal à des esprits ne demandant qu'à être éclairés.

Aussi maintiendrons-nous ce que nous avons déjà eu l'occasion de dire : En thèse générale, au-dessus d'un certain voltage dépendant des matériaux employés et pour un diélectrique donné, le prix d'un condensateur peut être considéré comme à peu près proportionnel à sa capacité et au carré du voltage qu'il doit supporter.

Je dis bien « au-dessus d'un certain voltage », les corps n'étant pas divisibles à l'infini. Et avec cette restriction, nous pourrons appeler farad-volt, par abréviation, le condensateur de 1 farad pouvant supporter 1 volt efficace, ou le condensateur de 1 microfarad pouvant supporter 1000 volts efficaces, bien que nous sachions tous qu'avec les feuilles de diélectriques les plus minces un condensateur de 1 farad serait beaucoup plus considérable qu'un condensateur de 1 microfarad devant supporter 1000 volts.

Si γ est alors le prix du farad-volt correspondant à un diélectrique donné, le prix d'un condensateur fait avec ce diélectrique sera :

$$\gamma C e^2_0$$

S'il s'agit alors de détruire les effets d'une self-induction L placée dans un circuit parcouru par un courant d'intensité $I_{eff.}$, la capacité à placer en circuit sera alors donnée par la formule bien connue aujourd'hui :

$$c = \frac{1}{\omega^2 L},$$

et le voltage qu'elle devra supporter sera :

$$e_{eff.} = \frac{I_{eff.}}{\omega c} = I_{eff.}\, \omega L,$$

ce qui donnera pour le prix du condensateur :

$$\gamma \frac{1}{\omega^2 L} I^2_{eff.}\, \omega^2 L^2 = \gamma L\, I^2_{eff.}$$

La dépense nécessaire est donc indépendante de la fréquence.

Si L = 1 quadrant et $I_{eff.}$ = 1 ampère, elle est égale à γ.

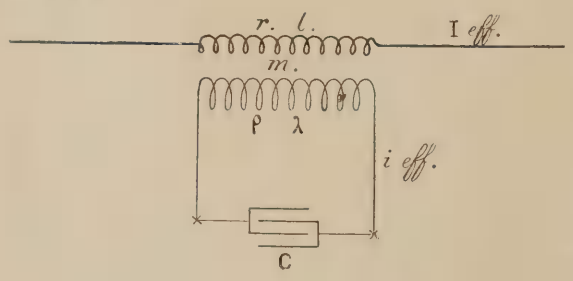


Fig. 1

Si donc, par analogie, nous appelons quadrant-ampère la bobine de self-induction de 1 quadrant pouvant supporter normalement 1 ampère, nous pourrons dire que lorsqu'il s'agit de courants alternatifs, le farad-volt équilibre le quadrant-ampère, et réciproquement.

Mais, en dehors des condensateurs électrolytiques dit polariseurs, dont les propriétés sont très mal connues, on peut admettre deux sortes de condensateurs : les uns à diélectrique solide, qu'il ne faut employer qu'au dessus de 500 volts, les autres à diélectrique liquide, avec lesquels le farad-volt semble devoir coûter meilleur marché, la capacité inductive spécifique étant plus forte, mais qu'on ne peut employer avantageusement qu'avec des tensions de plusieurs milliers de volts.

Or, il se peut que dans les formules précédentes L soit faible et $I_{eff.}$ fort, ce qui conduira à de grandes capacités devant supporter de faibles tensions qui, dans certains cas, pourront être bien inférieures à 500 volts; en appliquant directement les formules, la dépense pourrait être considérable. Il y aura alors deux moyens de la réduire, soit en augmentant L, ce qui réduira C, jusqu'à ce que le produit $I_{eff.}\, \omega L$ atteigne 500 volts, soit en faisant agir un condensateur à diélectrique solide ou liquide par l'intermédiaire d'un transformateur d'induction.

Il se peut même qu'au-delà de 500 volts, il y ait intérêt quelquefois à faire agir un condensateur à diélectrique liquide par l'intermédiaire d'un transformateur, au lieu de faire agir un condensateur à diélectrique solide immédiatement. Nous allons chercher dans quelles conditions.

Soit (fig. 1) un courant d'intensité instantanée $I \sin \omega t$ et d'intensité efficace $I_{eff.}$ parcourant le primaire d'un transformateur dont le coefficient d'induction mutuelle est m, primaire dont la résistance est r et le coefficient de self-induction l. Aux bornes du secondaire de résistance ρ et de self-induction λ se trouve un condensateur de capacité C.

Appelons $I_{eff.}$ l'intensité dans le secondaire, i_t à chaque instant; $e_{eff.}$ la différence de potentiel aux bornes du primaire; e_t à chaque instant. On a dans le secondaire :

$$m I \omega \cos \omega t + \rho\, i_t + \lambda \frac{d i_t}{dt} + \frac{1}{c} \int i_t\, dt = 0. \qquad (1)$$

i_t est de la forme

$$x \sin \omega t + y \cos \omega t,$$

ce qui donne pour $\frac{d i_t}{d t}$:

$$x \omega \cos \omega t - y \omega \sin \omega t$$

et pour $\int i_t\, dt$:

$$-\frac{x}{\omega} \cos \omega t + \frac{y}{\omega} \sin \omega t.$$

Ces trois valeurs remplacées dans (1) donnent les deux équations :

$$y \left(\frac{1}{\omega c} - \omega \lambda\right) + \rho x = 0,$$

$$y \rho + x \left(\omega \lambda - \frac{1}{\omega c}\right) = -\omega m I;$$

d'où

$$x = -\frac{\omega m I \left(\omega \lambda - \frac{1}{\omega c}\right)}{\rho^2 + \left(\omega \lambda - \frac{1}{\omega c}\right)^2},$$

$$y = -\frac{\omega \rho m I}{\rho^2 + \left(\omega \lambda - \frac{1}{\omega c}\right)^2};$$

ce qui donne pour i_t :

$$i_t = -\omega m \mathrm{I} \frac{\rho \cos \omega t + \left(\omega \lambda - \frac{1}{\omega c}\right) \sin \omega t}{\rho^2 + \left(\omega \lambda - \frac{1}{\omega c}\right)^2}. \qquad (2)$$

Dans le primaire :

$$m \frac{di_t}{dt} + r \mathrm{I} \sin \omega t + l\omega \mathrm{I} \cos \omega t = e_t,$$

d'où, en remplaçant i_t par sa valeur (2),

$$e_t = \left[r + \frac{\rho \omega^2 m^2}{\rho^2 + \left(\omega \lambda - \frac{1}{\omega c}\right)^2}\right] \mathrm{I} \sin \omega t$$

$$+ \left[\omega l - \frac{\left(\omega \lambda - \frac{1}{\omega c}\right) \omega^2 m^2}{\rho^2 + \left(\omega \lambda - \frac{1}{\omega c}\right)^2}\right] \mathrm{I} \cos \omega t.$$

L'introduction du système dans un circuit équivaut donc à l'introduction d'une résistance

$$r + \rho \frac{\omega^2 m^2}{\rho^2 + \left(\omega \lambda - \frac{1}{\omega c}\right)^2}$$

et d'une inductance

$$\omega l - \left(\omega \lambda - \frac{1}{\omega c}\right) \frac{\omega^2 m^2}{\rho^2 + \left(\omega \lambda - \frac{1}{\omega c}\right)^2},$$

puisque le premier terme est multiplié par sinus et le second par cosinus.

Négligeons pour un instant la résistance ρ.

Le système équivaut alors à une inductance :

$$\omega l - \frac{\omega^2 m^2}{\omega \lambda - \frac{1}{\omega c}} = \frac{\omega^2 \lambda l - \frac{l}{c} - \omega^2 m^2}{\omega \lambda - \frac{1}{\omega c}}.$$

Dans un transformateur parfait $m^2 = \lambda l$, ce qui nous donne pour cette inductance :

$$-\frac{\omega l}{(\omega^2 \lambda c - 1)},$$

ce qui équivaut à une capacité :

$$\mathrm{K} = \frac{\omega^2 \lambda c - 1}{\omega^2 l} = c \frac{\lambda}{l} - \frac{1}{\omega^2 l}.$$

On voit de suite que s'il n'y avait pas le second terme du second membre, la capacité obtenue serait à la capacité mise dans le rapport des coefficients de self-induction, c'est-à-dire dans le rapport des carrés des nombres de spires des deux enroulements ; et qu'il faut en réalité retrancher de ce nombre la capacité nécessaire pour détruire la self-induction du primaire.

Si l'on veut alors détruire avec ce système une self-induction L, il faut faire en sorte que l'on ait :

$$c \frac{\lambda}{l} - \frac{1}{l\omega^2} = \frac{1}{\omega^2 \mathrm{L}},$$

d'où

$$c = \frac{1}{\omega^2 \mathrm{L}} \frac{\mathrm{L} + l}{\lambda}.$$

La capacité à placer dans le secondaire est donc égale à celle qu'il faudrait placer directement multipliée par le rapport $\frac{\mathrm{L} + l}{\lambda}$ de la self-induction totale du circuit primaire à la self-induction de l'enroulement secondaire.

Cette formule montre bien que pour que la capacité à mettre soit réduite dans le rapport des carrés des nombres de spires, il faut que la self-induction à détruire soit *très petite* vis-à-vis de la self-induction du primaire.

Quel sera le voltage à supporter par le condensateur? L'intensité dans le secondaire est, toujours en négligeant la résistance de ce secondaire :

$$i_t = -\frac{\omega m \mathrm{I} \sin \omega t}{\omega \lambda - \frac{1}{\omega c}}$$

ou, en remplaçant m^2 par λl :

$$i_t = -\frac{\mathrm{L} + l}{\sqrt{\lambda l}} \mathrm{I} \sin \omega t,$$

$$i_{\text{eff.}} = \frac{\mathrm{L} + l}{\sqrt{\lambda l}} \mathrm{I}_{\text{eff.}}$$

ce qui donne pour la différence de potentiel aux bornes du condensateur :

$$\varepsilon_{\text{eff.}} = \frac{i_{\text{eff.}}}{\omega c} = \frac{\mathrm{L} + l}{\sqrt{\lambda l}} \omega \mathrm{L} \frac{\lambda}{\mathrm{L} + l} \mathrm{I}_{\text{eff.}}$$

$$\varepsilon_{\text{eff.}} = \omega \mathrm{L} \sqrt{\frac{\lambda}{l}} \mathrm{I}^2_{\text{eff.}}$$

Ayant la capacité du condensateur et le voltage qu'il doit supporter, il est facile d'en établir le prix d'après les règles données plus haut. Ce prix est :

$$\gamma' c \varepsilon^2_{\text{eff.}} = \gamma' \frac{1}{\omega^2 \mathrm{L}} \frac{\mathrm{L} + l}{\lambda} \omega^2 \mathrm{L}^2 \frac{\lambda}{l} \mathrm{I}_{\text{eff.}}$$

$$\gamma' c \varepsilon^2_{\text{eff.}} = \gamma' \mathrm{L} \mathrm{I}^2_{\text{eff.}} \frac{\mathrm{L} + l}{l}.$$

D'où cette conclusion qu'à égalité de prix du farad-volt, les prix des condensateurs intercalés par transformateur et directement sont dans le rapport $\frac{\mathrm{L} + l}{l}$ — toujours en supposant négli-

geable la résistance du secondaire, qui est ici le circuit de haute tension.

Mais ces diverses conclusions n'ont qu'une signification très relative si l'on ne s'occupe de donner aux constantes du transformateur certaines valeurs, et nous allons voir que si l'on veut employer le plus petit transformateur possible, le condensateur sera très grand; et inversement, si l'on veut réduire le condensateur, le transformateur sera grand, et qu'il y a par conséquent un choix à faire pour les dimensions des deux appareils, si l'on veut se placer dans les meilleures conditions économiques.

Nous avons vu que le rapport des intensités primaire et secondaire est :

$$\frac{I_{\text{eff.}}}{i_{\text{eff.}}} = \frac{\sqrt{\lambda l}}{L + l}.$$

Or, un transformateur est construit de telle façon que, à pleine charge, le rapport des intensités primaire et secondaire soit

$$\frac{\lambda}{m} = \frac{m}{l} = \frac{\sqrt{\lambda l}}{l}.$$

Dans notre cas, ce rapport est donc plus petit qu'à l'ordinaire, et d'autant plus petit que la self-induction à détruire est plus grande vis-à

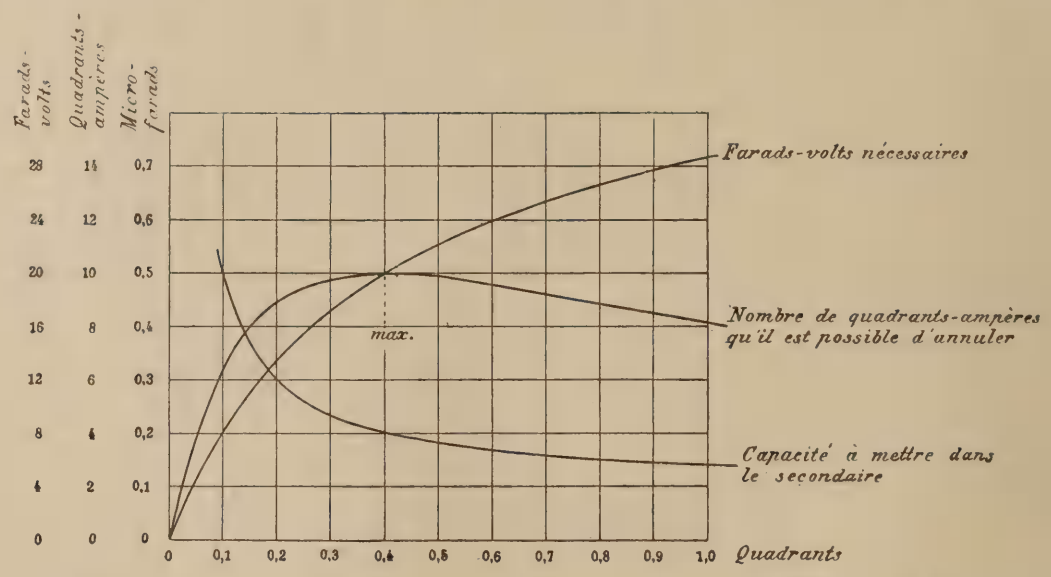


Fig. 2. — Utilisation d'un transformateur de 1000 watts; $l = 0{,}4$, $\lambda = 40$. Courbes en fonction du coefficient de self-induction à détruire L.

vis de la self-induction du primaire. Cela signifie que dans notre cas l'intensité dans le secondaire a acquis sa valeur maxima, au point de vue de la sécurité, avant celle du primaire et que c'est par conséquent sur l'intensité dans le secondaire qu'il faut tabler, pour savoir quel transformateur on doit employer. Pour être plus explicite, si l'intensité passant dans la self-induction à détruire est I_{eff}, un transformateur dont le primaire doit supporter normalement cette intensité à pleine charge serait insuffisant dans notre cas et sera d'autant plus insuffisant que la self-induction à détruire sera plus grande vis-à-vis de la self-induction du primaire.

Prenons un transformateur (fig. 2) de 1000 watts et supposons :

Voltage du primaire : 100 volts; intensité primaire à pleine charge : 10 ampères; self-induction primaire : $l = \frac{2}{5}$ quadrant.

Voltage du secondaire : 1000 volts; intensité secondaire à pleine charge : 1 ampère; self-induction secondaire : $\lambda = 40$ quadrants.

Induction mutuelle : $m = 4$ quadrants.

Dans la figure 2, nous avons représenté divers éléments en fonction de la self-induction à détruire en supposant que le circuit secondaire du transformateur est toujours à pleine charge.

Nous obtenons alors pour le nombre de farads-volts nécessaires pour détruire la self-induction L une courbe qui croît d'une façon continue.

Au contraire, la courbe des quadrants-ampères

détruits passe par un maximum. Cela justifie ce que nous avons dit tout à l'heure.

Si l'on fait des sacrifices sur le prix du condensateur, le transformateur est mal utilisé; si au contraire on dépense peu pour le condensateur, le prix du transformateur est très important pour le résultat obtenu.

Il y a donc certaines dispositions à prendre pour détruire un certain nombre de quadrants-ampères au meilleur compte possible.

Nous allons les examiner.

D'après ce que nous avons dit au sujet des intensités, le secondaire étant à pleine charge, il ne passera dans le primaire, au lieu de 10 ampères, que :

$$I_{eff.} = \frac{4}{L + \frac{2}{5}},$$

L étant toujours la self-induction à détruire.

Il s'ensuit que la dite self-induction ne pourra être détruite avec ce transformateur que jusqu'à concurrence d'une intensité $\frac{4}{L + \frac{2}{5}}$.

Le condensateur qui, intercalé directement, donnerait ce résultat coûterait :

$$\gamma L \left(\frac{4}{L + \frac{2}{5}}\right)^2$$

Celui intercalé dans le secondaire coûtera :

$$\frac{5}{2}\left(L + \frac{2}{5}\right) \cdot \gamma' . L \left(\frac{4}{L + \frac{2}{5}}\right)^2$$

Si φ est le prix du transformateur de 1000 watts, il ne sera donc légitime de remplacer le condensateur direct par celui avec transformateur que si l'on a :

$$\varphi + \frac{5}{2}\left(L + \frac{2}{5}\right)\gamma' L \left(\frac{4}{L + \frac{2}{5}}\right)^2 < \gamma L \left(\frac{4}{L + \frac{2}{5}}\right)^2$$

Voici donc un premier point d'acquis : la condition générale pour que l'on soit en droit de remplacer d'une façon légitime le condensateur direct par un condensateur avec transformateur.

En second lieu, le nombre de quadrants-ampères que peut annuler le transformateur de 1000 watts est $L I^2_{eff.}$ ou :

$$\frac{L\,16}{\left(L + \frac{2}{5}\right)^2}$$

ce nombre est maximum pour $L = \frac{2}{5} = l$, correspond à 10 quadrants-ampères et donne pour la plus forte intensité à faire passer 5 ampères [1], au lieu de 10 que peut supporter le primaire.

Pour une self-induction plus élevée, L est plus grand, $I_{eff.}$ plus petit et le produit $L I^2_{eff.}$ plus petit que 10 quadrants-ampères.

Pour une self-induction plus faible, L est plus petit, $I_{eff.}$ plus grand et le produit $L I^2_{eff.}$ plus petit que 10 quadrants-ampères.

La capacité à mettre dans le secondaire pour $L = \frac{2}{5}$ coûtera :

$$2\gamma' . 10$$

c'est-à-dire, à égalité de prix du farad-volt, le double de ce qu'elle coûterait intercalée directement.

Donc, si l'on tient à tirer du transformateur le maximum d'effet, il faut que le farad-volt en haute tension coûte moins de la moitié du farad-volt en basse tension, et il faut employer un transformateur tel que la self-induction de son primaire soit égale à celle à détruire, et que ce primaire soit capable de supporter une intensité double de celle que l'on y fera passer.

Pour donner une idée de l'importance du prix du transformateur, disons qu'il serait dans ces conditions à peu près le quart du prix du condensateur haute tension.

S'il n'y avait à considérer que la question du capital engagé, il ne serait pas nécessaire de chercher à tirer du transformateur le maximum d'effet; il faudrait au contraire chercher à détruire le plus possible de quadrants-ampères pour le minimum de dépense, c'est-à-dire qu'il faudrait chercher le maximum de

$$\frac{L\left(\frac{4}{L + \frac{2}{5}}\right)^2}{\varphi + \frac{3}{2}\left(L + \frac{2}{5}\right)\gamma' L \left(\frac{4}{L + \frac{2}{5}}\right)^2}$$

[1] Devant cette constatation que le circuit primaire n'est toujours qu'à mi-charge, alors que le secondaire est à pleine charge, on pourrait songer à modifier cet enroulement de manière à réduire le transformateur; mais je crois qu'il serait bien préférable de profiter de cette circonstance pour augmenter l'isolement général (primaire et secondaire), les tensions étant bien plus fortes que normalement ainsi que nous le verrons plus loin.

mais, ainsi que nous le verrons plus loin, l'addition d'un transformateur entraîne une perte d'énergie qui fait que l'on doit chercher à tirer du transformateur le maximum d'effet pour le réduire le plus possible. Aussi ne chercherons-nous pas le maximum de la fonction précédente, qui nous intéresse peu.

Tous ces calculs ont supposé que la résistance du secondaire était négligeable devant l'inductance (considérée avec le condensateur) du circuit secondaire total. Elle est certainement négligeable devant l'inductance de l'enroulement secondaire, mais le condensateur venant diminuer cette inductance, il faut justifier cette manière de faire.

Nous considérerons pour cela le cas où l'on fait produire au transformateur le maximum d'effet, c'est-à-dire $L = \frac{2}{5} = l$.

La capacité à mettre est :

$$c = \frac{1}{\omega^2 L} \frac{L + l}{\lambda} = \frac{2}{\omega^2 \lambda},$$

Donc l'inductance du circuit secondaire est :

$$\omega\lambda - \frac{1}{\omega c} = \omega\lambda - \frac{\omega\lambda}{2} = \frac{\omega\lambda}{2};$$

elle est donc la moitié de l'inductance de l'enroulement secondaire et par conséquent la résistance de cet enroulement est encore négligeable devant elle, au point de vue des effets obtenus par la capacité.

Car au point de vue du rendement du système, elle a la même importance que dans un transformateur ordinaire.

Et c'est encore un point très important à considérer quand on veut appliquer un condensateur par transformation.

La perte d'énergie dans un condensateur ordinaire à pleine charge est de quelques watts. Tout au plus atteint-elle 1 o/o. C'est même une propriété précieuse qui peut faire espérer le remplacement des transformateurs d'induction par les condensateurs. Mais si l'on fait agir un condensateur par l'intermédiaire d'un transformateur, il faut ajouter à cette perte de 1 o/o la perte propre du transformateur, c'est-à-dire 4, 6, 8 ou 10 o/o, selon ses dimensions.

Cette perte continue correspond à l'intérêt d'un capital engagé inutilement, variant selon l'utilisation probable des appareils, capital qui doit être encore ajouté aux chiffres précédents pour justifier le remplacement d'un condensateur ordinaire par le système en question.

C'est pour cette raison aussi qu'il faut chercher à tirer du transformateur le maximum d'effet, sinon les dimensions du transformateur devront être augmentées ; pour un même condensateur, la perte due au transformateur doit encore être multipliée par un coefficient plus grand que 1.

Ainsi, pour nous résumer, le transformateur de 1000 watts considéré devra être utilisé pour détruire une self-induction de 0,4 quadrant parcourue par un courant d'au plus 5 ampères efficaces.

Pour détruire cette self-induction directement, il faudrait un condensateur de 10 microfarads supportant 1000 volts, c'est-à-dire 10 farads-volts.

Pour détruire cette self-induction indirectement, il faut un condensateur de 0,2 microfarad supportant 10 000 volts, c'est-à-dire 20 farads-volts.

Ces deux voltages peuvent étonner, car ils sont juste dix fois les voltages ordinaires du transformateur ; cependant ils sont exacts et leur exagération vient de ce que dans un circuit alternatif contenant self-induction et capacité, la différence de potentiel efficace aux bornes d'un des appareils peut être beaucoup plus grande que la différence de potentiel totale efficace.

Mais il faut en tirer un enseignement : l'isolation des enroulements doit être beaucoup plus soignée que dans le transformateur ordinaire, puisque ce transformateur qui était construit pour $\frac{1000 \text{ volts}}{100 \text{ volts}}$ aura à supporter $\frac{10\,000 \text{ volts}}{1000 \text{ volts}}$.

Il y a donc un certain nombre de difficultés à surmonter pour résoudre pratiquement le problème, qui, au début de cet article, pouvait paraître simple.

Nous conclurons donc ainsi :

Pour se placer dans les meilleures conditions, employer un transformateur dont le primaire a une self-induction égale à celle à détruire et peut supporter normalement une intensité double de celle qui parcourt cette self-induction.

Dans ces conditions, sans tenir compte du prix du transformateur ni de l'énergie qu'il absorbe, il n'y a intérêt à appliquer la solution que si le farad-volt haute tension coûte moins de la moitié du farad-volt basse tension.

En tenant compte du prix du transformateur, de l'énergie qu'il absorbe et de ce qu'il doit être capable de supporter des tensions beaucoup plus élevées qu'à l'ordinaire, on peut dire avec certitude que pour que les condensateurs soient appliqués de préférence par transformation, il faut que le farad-volt haute tension coûte à peine le quart ou le cinquième du farad-volt basse tension.

En dehors de cela, le condensateur ordinaire est préférable.

Nous avons dit au début de cet article qu'il y a un autre moyen, quand la tension est trop basse, de réduire la dépense du condensateur, par l'augmentation de la self-induction.

Supposons que 500 volts soient la limite au-dessous de laquelle on ne peut plus réduire le diélectrique et soit γ le prix du farad-volt au-dessus de 500 volts. Le prix du microfarad au-dessous de 500 volts sera donc indépendant du voltage et égal à $\frac{\gamma}{4}$.

Si donc nous avons à détruire une self-induction L telle qu'avec $I_{eff.}$ le produit $I_{eff.}\,\omega\,L$ est bien inférieur à 500 volts, le prix du condensateur qui remplirait ce but serait :

$$\frac{\gamma}{4}\,\frac{1}{\omega^2 L}$$

Au lieu de procéder ainsi, ajoutons à la self-induction L une bobine de self-induction de coefficient l qui devra par conséquent pouvoir supporter $I_{eff.}$ ampères. Si λ est le prix du quadrant-ampère, cette bobine coûtera :

$$\lambda\, l\, I^2_{eff.}$$

Nous donnerons à l une valeur telle que le produit

$$I_{eff.}\,\omega\,(L + l) = 500.$$

Le condensateur qui annulera $(L + l)$ coûtera alors

$$\frac{\gamma}{4}\,\frac{1}{\omega^2 (L + l)},$$

et il se pourra très bien que l'on ait, si L est suffisamment faible :

$$\lambda\, l\, I^2_{eff.} + \frac{\gamma}{4}\,\frac{1}{\omega^2 (L + l)} < \frac{\gamma}{4}\,\frac{1}{\omega^2 L}.$$

λ étant en pratique très petit devant γ, on pourra avoir très souvent intérêt à faire cette augmentation de la self-induction.

Le procédé est encore applicable dans un autre cas non moins intéressant.

Supposons que le produit $I_{eff.}\,\omega\,L$ est plus grand que 500 volts; on peut donc appliquer un condensateur à diélectrique solide. Que faut-il pour pouvoir appliquer un condensateur à diélectrique liquide, pour lequel le prix du farad-volt sera $\gamma' < \gamma$, mais qui nécessite une tension plus élevée, 5000 volts par exemple ?

Le prix du condensateur à diélectrique solide est

$$\gamma\, L\, I^2_{eff.}$$

J'ajoute à la bobine L une bobine l qui coûte

$$\lambda\, l\, I^2_{eff.},$$

mais qui me permet d'atteindre le voltage pour lequel je puis appliquer un condensateur à diélectrique liquide qui coûtera

$$\gamma'\,(L + l)\, I^2_{eff.}$$

Pour que nous ayons intérêt à faire cette opération, il suffit que

$$\gamma'\,(L + l)\, I^2 + \lambda\, l\, I^2 < \gamma\, L\, I^2,$$

ou

$$\frac{l}{L} < \frac{\gamma - \gamma'}{\gamma' + \lambda},$$

ou

$$\frac{l + L}{L} < \frac{\gamma + \lambda}{\gamma' + \lambda}.$$

Or, le rapport $\frac{l + L}{L}$ est aussi égal au rapport $\frac{5000}{I_{eff.}\,\omega\,L}$.

Il suffit donc en définitive que

$$I_{eff.}\,\omega\,L > 5000.\,\frac{\gamma' + \lambda}{\gamma + \lambda},$$

et dans bien des cas ce procédé serait plus avantageux, à bien des points de vue, que l'action par transformateur.

Mais nous ne nous y arrêterons pas plus longtemps, car il n'est même pas encore prouvé que le condensateur à très haute tension soit meilleur marché que celui à tension moyenne.

Je le répète, il ne faut pas attribuer à tous ces chiffres une valeur absolue, la question n'étant malheureusement pas encore assez étudiée pratiquement; mais ils sont une excellente indication du but à poursuivre et des mauvais

chemins dans lesquels il faut éviter de s'engager à tâtons.

PAUL BOUCHEROT.

LES LAMPES A ARC (1)

La lampe en dérivation de *M. Mathiesen*, représentée par les figures 1 à 3, est remarquable par sa grande simplicité et par l'emploi d'un

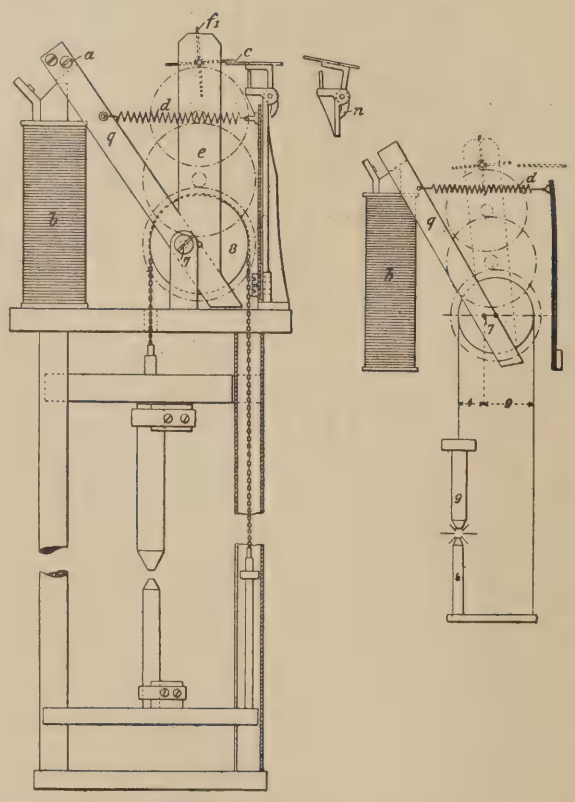


Fig. 1 à 3. — Lampe à compensateur Mathiesen (1892).

mécanisme permettant de compenser les effets perturbateurs dus aux variations de la résistance de l'électro en dérivation *b* avec la température de la lampe.

Quand la résistance de l'arc augmente, cet électro attire, autour de leur articulation 7, l'armature *q* et le mécanisme *c* 8, de manière à déclencher de *c* les palettes f_1 de ce mécanisme, lequel se met alors à tourner ,sous le balourd du charbon supérieur *q*, de manière à rapprocher les charbons et à raccourcir l'arc. Une fois l'arc ramené à sa longueur normale, le ressort *d* rappelle l'armature, et la butée des palettes f_1 sur *c* arrête le rapprochement des charbons. Afin d'éviter que cet arrêt ne se fasse trop tôt, la butée *c* bascule légèrement en arrière sous l'action d'un ressort, quand f_1 s'en détache, d'une quantité limitée par la butée *n*.

La compensation pour la température s'opère au moyen d'une lame bimétallique *i*, qui, lorsque la température augmente, se courbe comme l'indique la figure 2, de manière à détendre le ressort *d* assez pour compenser ainsi l'augmentation de la résistance de l'électro *b*.

Enfin, comme l'indique la figure 2, les dis-

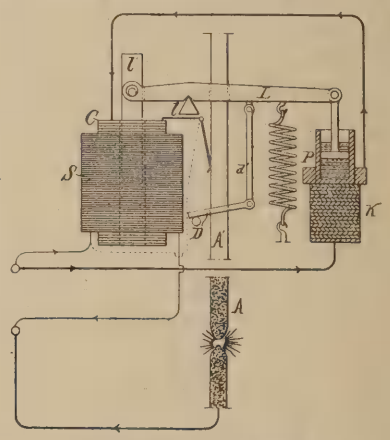


Fig. 4. — Lampe en série Higgam (1892).

tances 4 et 9 des chaînes de suspension des charbons 9 et 4 au point 7 sont en raison inverse des poids de ces charbons, qui s'équilibrent ainsi constamment autour de l'axe 7, de manière que l'armature *q* ne soit soumise qu'à l'antagonisme de deux forces : l'attraction de *b* et la réaction du ressort *d*.

La lampe de *D. Higgam* est disposée de façon à rendre les différentes lampes d'un même circuit pratiquement indépendantes les unes des autres Le charbon supérieur A (fig. 4), seul mobile, est actionné par un solénoïde différentiel S C, au moyen du frein D *d'* et du levier L, dont l'autre extrémité appuie par un dashpot P sur un bloc de résistances K, variant avec la pression. Dès que l'arc de l'une des lampes en série se raccourcit un peu trop, le solénoïde en dérivation S, opposé au solénoïde en série C, s'affaiblit, de sorte que C l'emporte et diminue la pression de

(1) *La Lumière Electrique*, 24 décembre 1892, p. 605.

P sur K, dont la résistance augmente alors assez pour compenser, dans le circuit général des lampes, la diminution de la résistance de cet arc; puis, comme la pression du dashpot s'annule peu à peu, la résistance de K revient graduellement à sa première valeur, en réduisant à mesure l'intensité du courant dans la dérivation S, ce qui permet à l'armature *l'* de soulever un peu le charbon A sous l'influence croissante de C, et de rétablir l'arc à sa longueur normale. L'inverse a lieu si l'arc augmente. En un mot, les résistances K augmentant ou diminuant suivant l'intensité du courant dans la lampe, amortissent considérablement ou compensent les effets de ces variations sur les autres lampes du circuit, dont l'allure est ainsi rendue plus stable.

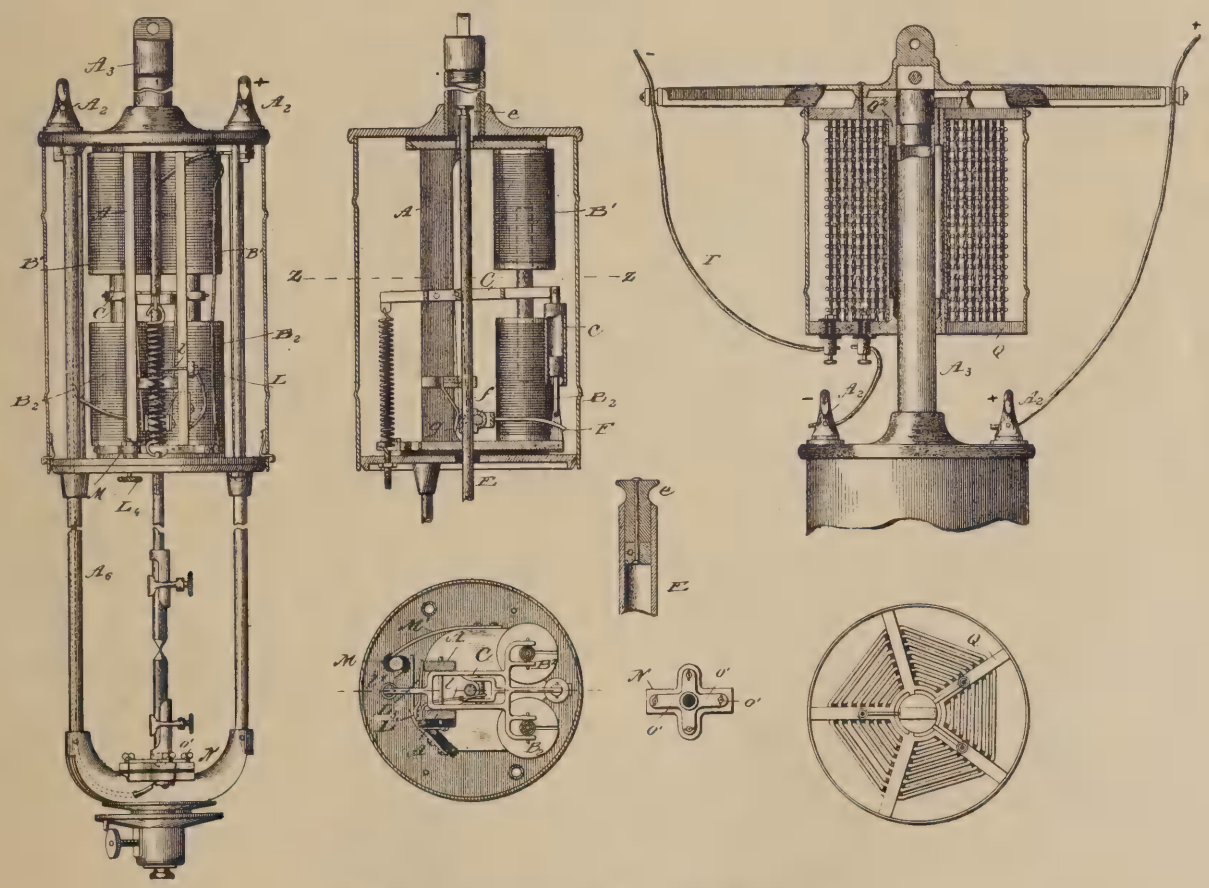


Fig. 5 à 11. — Lampe différentielle Mosher (1892).

La lampe différentielle *Mosher*, représentée par les figures 5 à 11, fonctionne comme il suit.

Le courant admis par la borne $+ A_2$ passe aux solénoïdes en série B', puis par L, au porte-charbon supérieur, à l'arc, et, par le conducteur renfermé dans le tube A_6, à la borne $- A_2$ et au rhéostat (fig. 11), d'où il revient au circuit par T.

Les solénoïdes en dérivation B_2 reçoivent leur courant du charbon supérieur par le fil *l*, constamment appuyé sur ce charbon, et sont reliées d'autre part à la borne $- A_2$. Au démarrage, les électros B' séparent les charbons par le levier C, à dashpot *c'* et à frein d'arc boutement F*f*; mais, dès que la longueur de l'arc augmente, l'attraction des électros en dérivation B_2 l'emporte, et laisse l'attirail des électros s'abaisser jusqu'à ce que le levier F vienne toucher légèrement le fond A_4, de manière à relâcher un peu le frein *f* et à permettre un léger rapprochement des charbons.

Quand le charbon supérieur arrive à l'épuisement, le fil *l* le retient par sa tête isolée *e* de sa gaine E (fig. 8), en même temps qu'il rompt le circuit dérivé B_2, de sorte que les électros en

série B′ séparent aussitôt les charbons assez pour couper l'arc à coup sûr.

Le courant passe de L′ à *l* par L_3 (fig. 7) et le châssis A quand L_3 est, comme en figure 7, appuyé sur A par la came isolante M, qu'il suffit

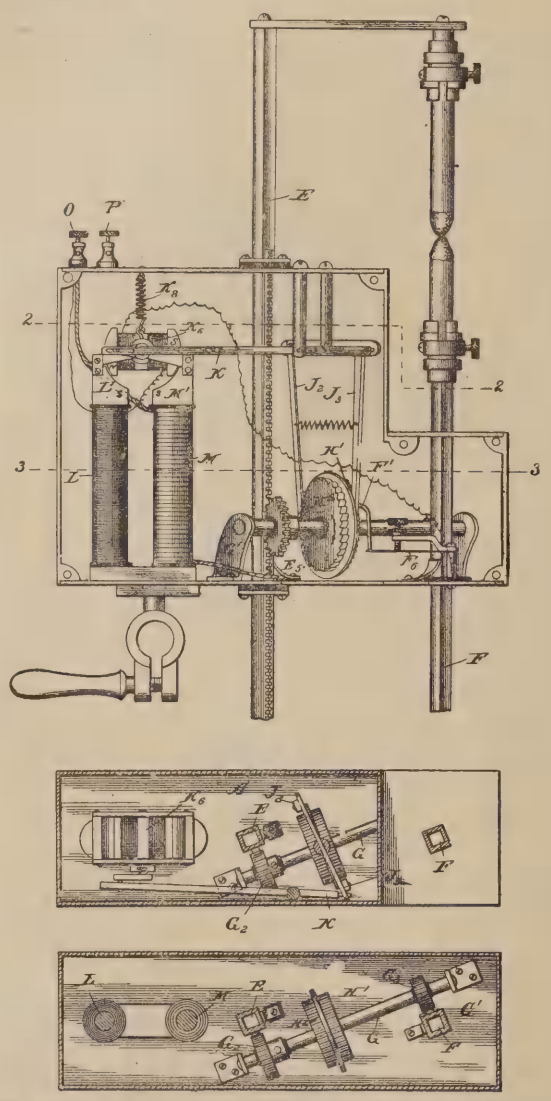


Fig. 12 à 14. — Lampe différentielle Meissner (1892).

de tourner de 90° par L_1 pour séparer L_3 de A et rompre le circuit.

Les quatre vis *o′* (fig. 9) du porte-charbon inférieur permettent de le cintrer exactement dans l'axe du charbon supérieur.

Quant au rhéostat Q, il se compose de fils enroulés sur un treillis d'amiante et disposés de façon à en assurer la ventilation autour de la cheminée A_3 de la lampe.

La lampe focale de *Meissner* est aussi (fig. 12 à 14) commandée par deux électros : l'un en dérivation, L, et l'autre en série, M. Le circuit principal passe de O à P par M, le contact à ressort E_5, le porte-charbon supérieur E, l'arc, le porte-charbon inférieur F et le corps de la lampe. Le circuit dérivé passe par O L, l'électro-aimant ou

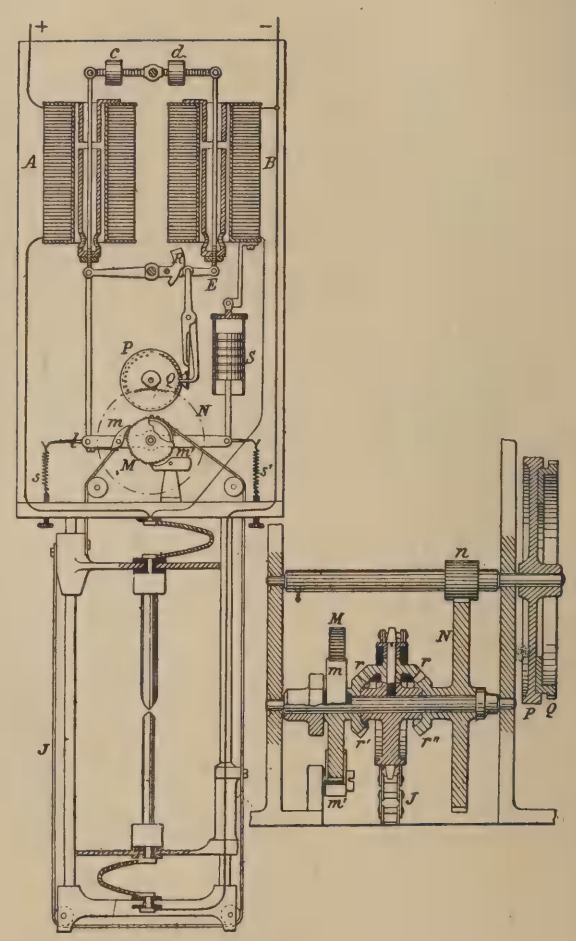


Fig. 15 et 16. — Lampe différentielle Maquaire (1891).

l'armature mobile K_6, la lame F_6, le doigt F′ et le corps de la lampe. Les électros L et M sont enroulés de manière à développer des pôles sud, tandis que l'armature mobile K_6 a deux pôles *n* et *s*.

Au démarrage, les charbons étant au contact, l'électro M, l'emportant de beaucoup sur L, renverse le champ de K_6 et fait tourner cette armature dans le sens de la flèche (fig. 12), de manière que sa manivelle abaisse, par le levier K, le cliquet J_3, qui fait alors tourner, par son

rochet H', l'arbre G, de manière que ses pignons G_2 écartent les porte-charbons à l'aide de leurs crémaillères. Quand l'arc atteint sa longueur normale, l'influence croissante de l'électro dérivé L permet au ressort K_8 de ramener

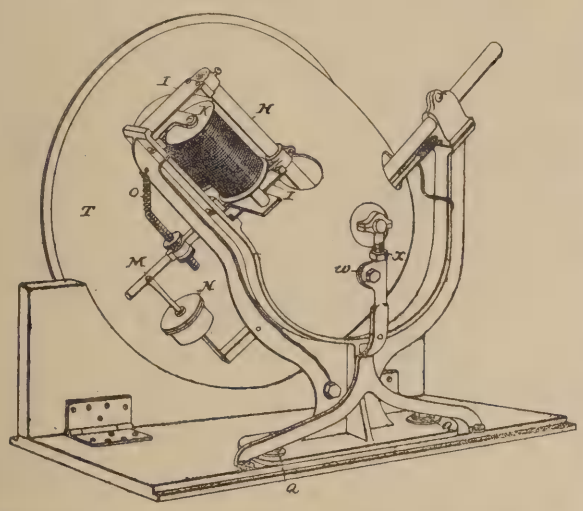


Fig. 17. — Lampe de locomotive Edwards (1892). Vue d'arrière.

l'armature K_6 à sa position horizontale primitive; puis, l'arc augmentant, L l'emporte et fait, par le second cliquet J_2 et son rochet H_2, tourner G en sens contraire de la flèche (fig. 12), de

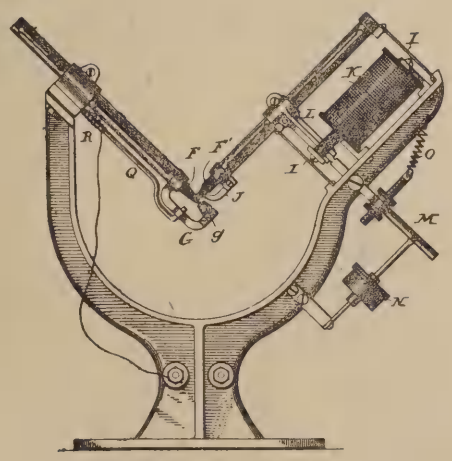


Fig. 18. — Lampe Edwards.

manière à rapprocher les charbons: en même temps, le doigt F', entraîné par le premier cliquet J_3, rompt en F_6 le circuit dérivé de L, de manière que le ressort K_8 ramène l'armature à sa position horizontale aussitôt que J_2 a ramené l'arc à sa longueur normale.

La lampe différentielle *Maquaire*, représentée par les figures 15 et 16, a un mécanisme d'amorçage de l'arc indépendant du mécanisme régulateur proprement dit. Au démarrage, le solénoïde en série A attaque directement, par le levier *l* et le cliquet *m*, le rochet M, qui entraîne la roue K et la chaîne J des charbons par le train *r' r r''*, dont le pignon *r''* est fixé par sa liaison avec la roue N, actuellement immobilisée par le calage du frein P. Une fois l'arc amorcé, s'il s'allonge trop, le solénoïde dérivé B, attirant E, dégage le cliquet Q du frein P de la came R, de manière qu'il laisse la chaîne J rapprocher un

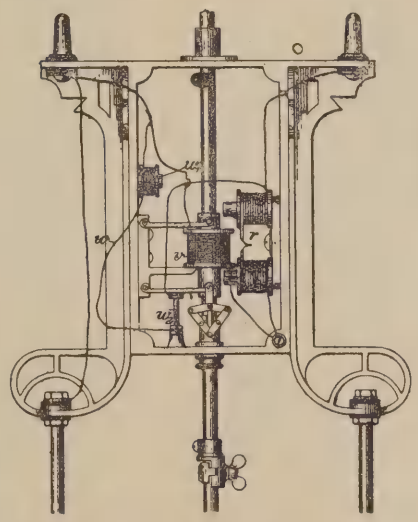


Fig. 19. — Lampe différentielle Scribner (1892).

peu les charbons par la seule action de la gravité, en entraînant le train K *r r''* N... autour de *r'*, alors fixé par *m*. On voit ainsi comment le train différentiel *r r' r''* rend l'amorçage indépendant du mécanisme régulateur proprement dit. Les masses *c* et *d*, les ressorts *s s'* et le dashpot S permettent de déterminer très exactement la sensibilité du réglage; et, dans le cas de courants alternatifs, les armatures des solénoïdes A et B sont creuses et fendues de façon à s'échauffer le moins possible.

La lampe focale pour lanternes de locomotives, etc. de *M. A. Edwards* a été (fig. 17 et 18) spécialement étudiée pour pouvoir résister aux chocs et aux trépidations. L'un des charbons, F, tombe sans cesse, à mesure qu'il s'use et par son poids seul, sur le grain de cuivre *g*, et l'autre charbon, F', sur un doigt en porcelaine J.

L'amorçage de l'arc s'opère par l'électro en série K, qui sépare les charbons par le bras M, à dashpot N et à ressort O, et qui saisit en L le porte-charbon H, guidé et porté par les deux lames flexibles I I. On maintient ainsi suffisamment invariable la longueur de l'arc, déterminée par la position du doigt J sur lequel le charbon F' appuie sans cesse. En outre, l'arc est stabilisé

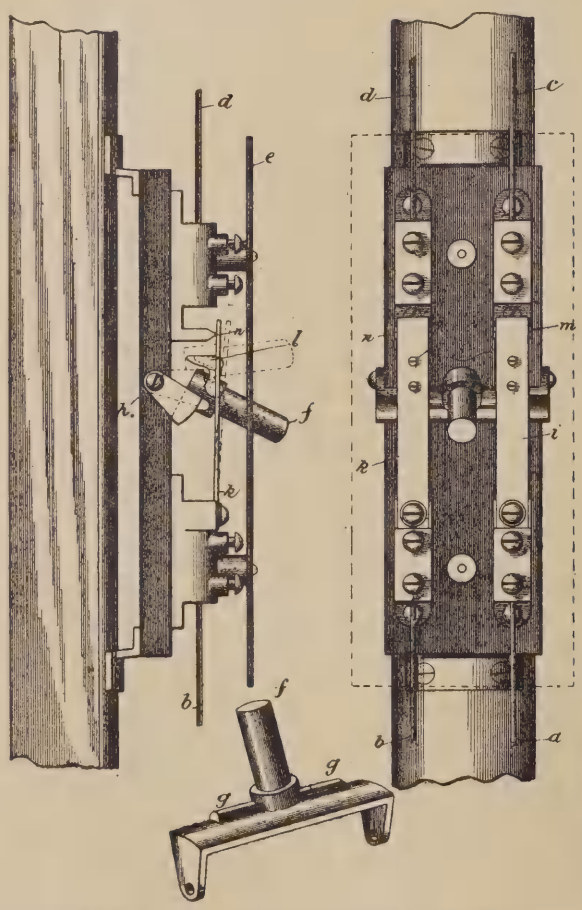


Fig. 20 et 21. — Coupe-circuit Warner (1892).

par l'action de l'électro-aimant R Q, dont le pôle G souffle l'arc vers le foyer.

Le réflecteur T s'ajuste au foyer par la vis x à percée de fixation w (fig. 17), et la lampe par les boulons a de son support.

La lampe *Scribner*, adoptée par la Western Electric C° de Chicago, est (fig. 19) régularisée par deux électros différentiels : l'électro en série r r tendant à soulever l'armature de l'électro en dérivation v, qui tend, au contraire, à l'abaisser. Cette lampe est, en plus, pourvue d'un coupe-circuit w_2, à faible résistance w_1, et qui, dès que l'arc s'abaisse trop, coupe la lampe du circuit en fermant son contact w_2. A l'amorçage, la résistance w_1 laisse passer dans les électros r un courant suffisant pour soulever par leur armature, qui est aussi celle de v, le contact w_2, et rompre le circuit w w_1, de manière que le courant, passant alors presque tout entier par

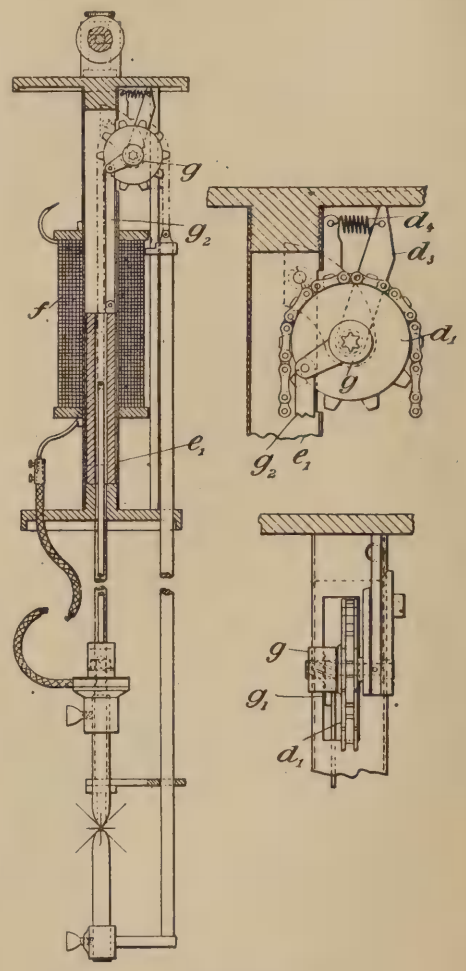


Fig. 22 à 24. — Lampe Akester (1891).

les charbons et r, sépare les charbons; après quoi, l'arc se maintient par la régularisation différentielle v r jusqu'à ce que, pour une raison quelconque — l'usure ou la rupture des charbons, par exemple — l'action de v prédomine au point de couper la lampe du circuit en refermant le contact w_2.

Le coupe-circuit de *Warner*, adopté aussi par la Western Electric C°, est (fig. 20 et 21) remarquable par sa simplicité et par la sécurité

de son action. Dans la position figurée, le circuit *a b*, *c d* est rétabli par les ressorts *k* et *i*, et le coupe-circuit *f h*, protégé par l'écrou *e*, est entièrement séparé du circuit; mais quand on amène ce coupe-circuit dans la position pointillée, il commence par réunir par le contact *l* les ressorts *k* et *i* et les fils *a* et *b*, puis il sépare ces ressorts et ces fils des fils *d* et *c* en rompant ainsi le circuit presque sans étincelles et sans

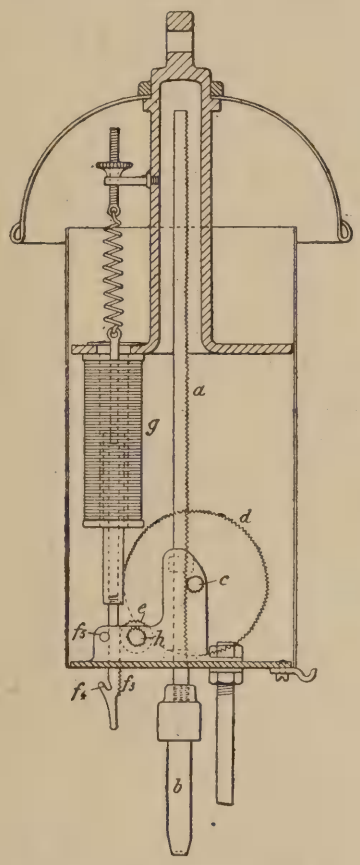


Fig. 25. — Lampe en série Tipping (1892).

aucun danger, grâce à la protection de l'écran *e*.

La lampe *Akester*, représentée par les figures 22 à 24, est remarquable par son extrême simplicité.

A l'amorçage, l'électro en série *f* attire son armature e_1 dont la tige g_2 serre, par *g*, l'écrou g_1 (fig. 24) sur la face de la roue d_1 et l'entraîne, malgré le levier *d* et son ressort d_4, de manière à séparer les charbons. Dès, au contraire, que l'arc s'allonge, l'armature s'abaisse et desserre l'écrou g_1, qui laisse la roue d_1 tourner sous le balourd du charbon supérieur et rapprocher les charbons, jusqu'à ce que le levier d_3 ait repris sa position primitive (fig. 23).

Lorsque l'arc augmente dans la lampe de *Tipping* (fig. 25), l'électro en série *g* attire son armature *f* de façon que la prise de son plan incliné f_4 sur l'axe f_5 la recule vers la droite et sépare sa crémaillère f_3 du pignon *l*. Le charbon

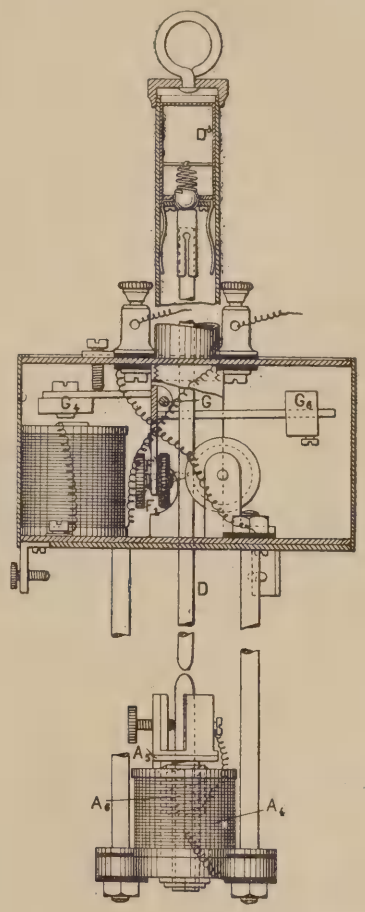


Fig. 26. — Lampe en série Sugden et Sandy (1892).

h tombe alors, et raccourcit l'arc en entraînant le mécanisme *a c d l*, jusqu'à ce que la descente de *f*, par suite de l'affaiblissement du courant en *g*, réengrène f_3 avec *l* et arrête la descente de *b*.

La lampe *Sugden et Sandy* a (fig. 26) pour organes régulateurs deux électros en série H et A_2.

A l'amorçage, l'électro H attire son armature G_4, fixée au levier G_2, dont le bras F serre par G_1 et immobilise le charbon supérieur, pendant

que l'électro A_4, attirant son armature A_5 malgré le ressort A_6, abaisse le charbon supérieur et fait jaillir l'arc.

Quand l'arc s'allonge, l'attraction de H diminue en même temps que celle de A_4, mais le ressort A_6 est assez faible pour que le charbon inférieur reste abaissé, tandis que, le contrepoids G_9 l'emportant sur l'attraction de H, le levier F lâche D et le laisse retomber jusqu'au rétablissement de l'arc à sa longueur normale, avec une vitesse réglée par la résistance du dashpot D_3.

M. Braun a récemment proposé pour la fabri-

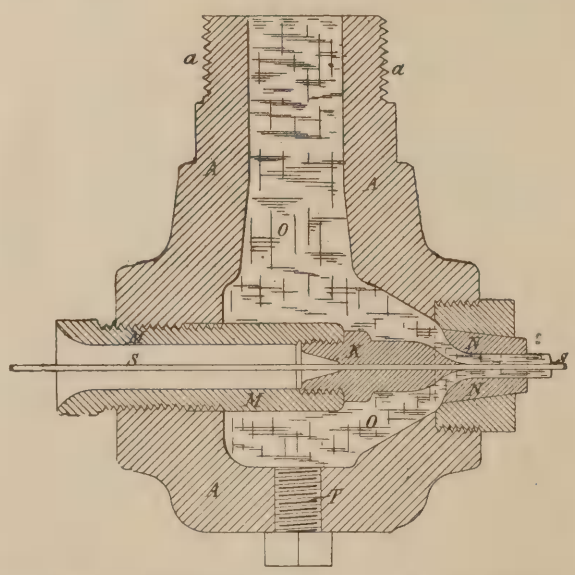


Fig. 27. — Fabrication des charbons Braun (1892).

cation des charbons mixtes le procédé représenté par la figure 27, dans lequel la pâte de charbon O, refoulée à la presse hydraulique autour du mandrin K, entraîne et emprisonne solidement le noyau S du crayon, enfilé dans ce mandrin. Le filetage M permet de régler avec précision la position du mandrin K, de manière que l'écoulement de O entraîne S sans le briser, mais avec une pression suffisante pour en assurer l'adhérence parfaite.

D'après *M. Hazeltine* on arriverait à presque doubler la durée des charbons en les recouvrant par galvanoplastie, d'abord d'une couche de cuivre, comme à l'ordinaire, puis d'une couche de zinc un peu plus épaisse, en les traitant par exemple, sous 10 ampères, pendant un quart d'heure dans un bain de sulfate de cuivre, puis pendant vingt minutes dans un bain de sulfate de zinc.

M. Hazeltine attribue l'effet protecteur de ce double dépôt à ce que l'oxyde de zinc infusible qui se forme par la volatilisation du zinc protège l'enveloppe de cuivre sous-jacente contre l'oxydation et la désagrégation, parfaitement visibles quand on examine à la loupe un charbon cuivré.

On obtient aussi de bons résultats avec les enveloppes mixtes suivantes : cuivre et fer ou fer sur cuivre, zinc sur fer ou fer sur zinc, bronze et zinc, cuivre et zinc amalgamé, cuivre et terre réfractaire, cuivre et cadmium, mais les meilleurs résultats ont été obtenus par le platinage cuivre et zinc, qui fait passer la durée d'un charbon cuivré ordinaire de huit heures à quatorze heures et demie.

LAMPES A ARC

DÉCRITES DANS MES PRÉCÉDENTS ARTICLES

Adams, 30 juillet 1892, p. 215, 217. Alison, 30 mai 1891, 409; 30 janvier 1892, 203. Akester, 22 août 1891, 354. Anderson, 11 octobre, 30 nov. 1890, 75, 411. Apps, 27 janv. 1891, 177; 19 nov. 1892, 354. Aschcrofft, 30 avril 1887, 214.

Bardon, 27 janv. 1891, 174; 24 déc. 1892, 605. Basiewsky, 11 août 1888, 268. Beach, 30 mai 1891, 406. Belfield, 30 mai 1891, 408. Bellens, 28 nov. 1891, 408. Bishop, 18 juin 1892, 555. Blackmore, 11 oct. 1890, 76. Boordman et Fairfax. 18 juin 1892, 552. Boult, 11 oct. 1890, 75. Brookie, 7 janv. 1890, 472; 22 août 1891, 354. Buchanan, 22 août 1892, 355.

Campbell, 27 janv. 1891, 172. Cance, 30 juil. 1892, 218. Cappilleri, 30 mai 1891, 406. Chapman et Derring, 11 avril 1888, 269. Crompton, et Crabs, 11 août 1888, 261. A. Essinger, 11 oct. 1890, 74; 18 juin 1892, 552. Coerper, 30 juil., 19 nov. 1892, 220, 359. Cooper, 13 juil. 1889, 66. Cooke et Robinson, 30 avril 1887, 211. Cutler, 24 déc. 1892, 607.

Dick et Kennedy, 30 avril 1889, 210. Dobbie, 10 juin, 30 juil. 1892, 555, 220. Doubrava, 11 août 1888, 261. Dulait, 13 juil. 1889, 61.

Edison, 22 oct. 1892, 172.

Ferranti, 7 juin 1890, 473. Fischinger, 11 oct. 1890, 73.

Garland, 28 nov. 1891, 405. Gaston, 19 nov. 1892, 355. Geipel, 16 avril 1887, 105. Gobert, 30 nov. 1889, 412. Goodfellow, 7 juin 1890, 472. Goold, 22 oct. 1892, 170. Gwynne, 27 janv. 1891, 175. Gray et Hammond, 30 mai 1891, 405; 30 janv. 1892, 204.

Hamilton et Schipney, 13 juillet 1889, 66. Hanson, 7 juin 1890, 474. Harper, 24 janv. 1891, 175. Harrison, 22 oct. 1892, 174. Haywood et Driver, 30 juil. 1892, 220. Hayes, 10 juin 1892, 556; 24 déc. 1892, 606. Hills, *id.*, 609. Hazeltine, 24 janv. 1891, 178. Hoockham, 7 juin 1890, 475. Howe, 13 juil. 1889, 62.

Ignatiew, 21 mai 1887, 365. Irish, 7 janv. 1889, 475; 22 oct., 19 nov. 1892, 174, 355.

Jappy, 22 août 1891, 353; 9 juil. 1892, 75. Jeffers, 11 oct.

1890, 77. Joel, 16 avril 1887, 106. Johson, 21 mai 1887, 364. Kester, 19 nov. 1891, 356.

Lahmeyer, 30 avril 1887, 213. Lever, 28 nov. 1891, 406 Logan, 22 oct. 1892, 173. Lucas, 24 déc. 1892, 611.

Maquaire, 30 nov. 1889, 407. Makensie, 30 avril 1887, 213. 11 avril 1888, 265. Marks, 4 oct. 1890, 10. Million, 11 août 1888, 267. Money et Nash, 30 janv. 1892, 203. Mortimer et Holloway, 13 juil. 1889, 65. Muirhead, 11 août 1888, 263. Mosher, 18 juin 1892, 557.

Newton, 16 avril 1887, 103. Noble, 11 avril 1888, 264, 268. Norman et Payne, 22 oct. 1892, 170.

Parker et Reiss, 19 nov. 1892, 354. Parmly, 24 janv. 1891, 176. Parsons, 11 avril 1888, 263; 30 mai 1891, 405. Pasqualini, 30 juil. 1892, 217. Patin, 18 juin 1892, 555. Pfanckuche, 16 avril 1887, 105. Pflunger, 18 juin, 30 juil. 1892, 560, 217. Pieper, 21 mai 1887, 363; 30 nov., 7 juin 1889, 409, 476; 30 mai 1891, 403. Puydt, 28 nov. 1891, 405. Pyle, 11 août 1888, 260; 27 janv. 1891, 170.

Radkiewitz, 11 avril 1888, 266. Rider, 11 oct. 1890, 74; 27 janvier 1881, 172; 19 nov. 1892, 353. Réper, 30 avril 1887. 211; 13 juil. 1889, 60. Rushmore. 18 juin 1892, 557. Russell, 27 janvier 1891, 172.

Sanders, 19 nov, 1892, 359. Saunderson, 7 janv. 1890, 377; 29 janv. 1891, 177. Sautter-Harlé, 27 janv. 1889, 65; 18 juin 1892, 553. Sawyer, 18 juin 1892, 557. Scribner, 30 juil., 19 nov. 1892, 216, 357. See, 22 oct. 1892, 170. Seebold, 30 mai 1891, 409, Sellon, 30 avril 1887, 209. Siemens, 13 juil. 1889, 65; 28 nov. 1891, 407. Shefbauer, 22 oct. 1892, 170. Shepard, 30 nov. 1889, 412; 22 août 1891, 356; 28 nov. 1891, 409; 23 juil. 1892, 213. Shoensted, 30 janv. 1892, 203. Shroeder, 24 déc. 1892, 610. Silvey, 30 juil. 1892, 211. Société industrielle électrique de Genève, 18 juin 1892, 556. Spoke, 18 juin 1892, 555. Strode et Gell, 11 oct. 1890, 78. Stuart, 24 oct. 1892, 608.

Thomson-Houston, 30 janv. 1892, 203. Thompson, 11 août 1888, 246. Thornston et Romanze, 16 avril 1887, 107. Turbaye, 28 nov. 1892, 408.

Walker, 30 avril 1887, 211. Ward, 22 août 1891, 352; 30 juil., 24 déc. 1892, 212, 607. Warburton, 22 août 1891, 355; 22 oct. 1892, 169. Warner, 24 déc. 1892, 610. Watterhouse, 31 juil. 1889, 64; 18 juin 1892, 556. Weeks, 18 juin 1892, 555. Weber et Schaeffauer, 11 août 1888, 266. Weldon, 16 avril 1887, 104. Wright, 19 nov. 1892, 359.

GUSTAVE RICHARD.

LE BUREAU DE CONTROLE

DES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES

Toute industrie qui s'adresse au public rencontre nécessairement des difficultés d'ordre commercial : l'accord sur la matière et le prix qui, d'après la loi, constitue la vente, n'est pas toujours facile à établir ; les discussions sur la quantité, la qualité sont inévitables.

Les industries d'éclairage électrique sont en butte de ce côté à des difficultés spéciales et particulièrement graves, parce qu'elles sont de nature technique.

En général, le producteur fabrique sa marchandise chez lui, sans intervention étrangère; une fois terminée, il la livre. Dans l'industrie électrique il n'en est pas tout à fait ainsi : l'énergie électrique se prépare bien dans des usines spéciales, par les soins de la société seule, mais la distribution a lieu au moyen d'un réseau dont le client lui-même installe et détient une partie, ce qui crée une situation particulièrement délicate.

C'est en effet sur les installations d'abonnés que se produisent presque tous les accidents, ceux au moins qui ont quelque conséquence, tels que les commencements d'incendie. Il est bien vrai que ces accidents ont généralement peu de gravité; il est vrai aussi qu'après tout la responsabilité en incombe à ceux dont les installations défectueuses les ont causés; mais ils n'en sont pas moins d'une importance assez grande pour les industries électriques.

D'abord ces accidents peuvent s'étendre plus loin que ne le comporterait leur origine; une installation met à la terre le pôle négatif, le pôle positif de l'installation voisine est déjà à la terre; il y a court circuit, les plombs fusibles fondront probablement chez les deux abonnés, et on aura deux extinctions à la fois; un court circuit très fort est produit dans le coffret ou auprès du compteur d'une grande installation; son plomb fusible fontionnera, mais si l'accident a eu lieu brusquement, il est possible que les plombs de précaution placés sur la canalisation générale fonctionnent, en sorte que toute la rue sera dans l'obscurité; de là, réclamations violentes et justifiées.

D'ailleurs, ainsi qu'on l'a déjà remarqué, les accidents, même sans gravité, sont d'un mauvais effet pour les industries qui commencent; on n'a pas encore confiance et tout défaut semble grave. Cet état d'esprit s'atténue déjà pour l'éclairage électrique; on s'habitue; on n'en est pas encore à la tranquillité où l'on est arrivé pour le gaz, qui peut bien détonner, empoisonner, incendier sans qu'on s'étonne, mais enfin on a cessé de s'effrayer pour une lampe qui se casse, ainsi que cela avait lieu il y a quelques années.

Les entreprises d'éclairage électrique avaient

été dès l'origine frappées de cette situation et s'en étaient préoccupées; mais elles avaient dû reconnaître que leur initiative était presque forcément restreinte. A Paris, par exemple, il est interdit aux sociétés d'imposer un entrepreneur pour les installations particulières; d'ailleurs il leur serait en tout cas difficile d'intervenir directement; cela constituerait pour elles tout un service dont la rémunération serait douteuse, mais qui entraînerait de grosses responsabilités.

Elles se sont au contraire généralement appliquées à les diminuer en intervenant le moins possible dans les installations particulières, et en se contentant de constater avant de les mettre en service qu'elles sont en état convenable pour recevoir le courant. Elles ont été amenées à formuler les conditions à observer dans des cahiers de charge pour les entrepreneurs, et on se rappelle que la chambre syndicale des industries électriques, reprenant la question, a dernièrement réuni ces divers cahiers, et les a condensés en un règlement qui paraît devoir être généralement adopté. La *Lumière Electrique* a reproduit ce document.

Mais, pour parler le langage des mathématiques, cette précaution nécessaire n'est pas suffisante. L'installation est convenable au moment où on la met en service: le sera-t-elle longtemps? Il faudrait pouvoir continuer la surveillance.

En effet, deux installations de même valeur en apparence à la réception peuvent avoir des durées très différentes suivant les précautions prises. On sait par exemple, qu'une portion de circuit qui passe dans un endroit humide, bonne en apparence après sa pose, peut devenir rapidement détestable si l'on n'a pas apporté des soins spéciaux dans le choix des matériaux et l'établissement des conducteurs; les modifications faites dans l'appartement, peinture, pose de papiers, de tentures, peuvent compromettre l'isolation; le choix même des lampes peut agir, et on signalait récemment de ces appareils dont les douilles mal isolées, abaissaient sensiblement la valeur de l'installation; bien d'autres causes pourraient être énumérées.

Les compagnies d'électricité ne pouvaient guère chercher à exercer la surveillance nécessaire. Leur rôle est évidemment de rendre l'électricité le plus abordable que faire se pourra; elles ont intérêt à diminuer le plus possible la dépense que son usage entraîne; c'est ainsi qu'elles trouvent avantage à laisser agir la libre concurrence dans les installations, celle-ci pouvant seule amener l'amélioration des procédés et par suite les bonnes installations à bon marché, et tout en reconnaissant l'intérêt qu'il y aurait à posséder un organe de surveillance des installations, elles ne se considéraient pas comme bien placées pour en provoquer la fondation.

La chambre syndicale des industrie électriques, continuant de marcher dans la voie où elle était entrée, a entrepris de créer le service qui manquait et elle a décidé dans sa dernière séance la fondation d'un bureau de contrôle des installations.

C'est après réflexion et à la suite de discussions approfondies qu'on a pris cette résolution. La chambre voyait bien, en effet, que le fonctionnement de l'institution nouvelle n'irait pas tout seul, que les intérêts en jeu ne fourniraient pas sans quelque effort les concours nécessaires.

Les sociétés d'éclairage verront certainement avec satisfaction la fondation du bureau de contrôle: elles y trouveront un accroissement de sécurité, et elles doivent demeurer convaincues que si elles rencontrent jamais ce bureau entre elles et leurs abonnés, ce ne pourra être que pour réaliser une conciliation utile aux deux parties.

Le bureau ne saurait, au contraire, beaucoup compter sur la sympathie des appareilleurs; quelques-uns comprendront bien l'intérêt qu'ils ont à voir constater la bonne qualité de leur travail; beaucoup ressentiront quelque ennui à se voir surveiller de plus près.

Il reste l'abonné, dont l'intérêt est évident; le comprendra-t-il? On a donné comme exemple l'association des propriétaires de chaudières à vapeur, qui remplit une mission de surveillance analogue et qui est très prospère : il y a beaucoup de différence. Les propriétaires de chaudières à vapeur sont des industriels; ils savent que leur outil doit se détériorer par le service, que la manière de le conduire, de l'entretenir, a pour eux une grande importance; ils acceptent la charge d'une surveillance; les abonnés de l'éclairage sont des bourgeois quelconques, ils ont une installation qui leur a été garantie excellente par le fournisseur, ils ne voient pas clairement les causes d'usure : voudront-ils payer?

On a vu clairement ces obstacles, mais l'op-

portunité de l'institution apparaissait si évidente que la chambre syndicale a passé outre — avec beaucoup de raison, — et elle a pris la délibération suivante :

CHAMBRE SYNDICALE DES INDUSTRIES ÉLECTRIQUES

Délibération.

I. Il est créé sous le patronage de la Chambre sydicale des Industries électriques un bureau de contrôle des installations électriques.

II. Le but de cette institution est de :

1° Assurer périodiquement, pour le compte de ses adhérents, le contrôle de leurs installations en fonction, de façon à empêcher que des détériorations n'en compromettent incidemment la sécurité ;

2° Procéder, sur la requête de tout intéressé, à la vérification des installations ;

3° Centraliser tous les renseignements techniques, commerciaux, juridiques ou administratifs relatifs aux installations, stations centrales ou autres entreprises d'électricité.

III. Le Directeur du bureau de contrôle est nommé par la Chambre syndicale. mais conserve son entière indépendance, tant pour le choix et la direction du personnel sous ses ordres, que pour la conduite des travaux du bureau, dont il assume la responsabilité, la Chambre syndicale restant étrangère à ces travaux.

IV. Tous les ans, le budget du bureau de contrôle est présenté par le Directeur à la Chambre syndicale, qui le discute et l'approuve.

V. Les recettes du bureau se composent des abonnements pour contrôle, du produit des taxes perçues, suivant tarif, et des subventions de la Chambre syndicale.

VI. Le tarif des abonnements et des taxes à appliquer est arrêté par la Chambre, sur la proposition du Directeur du bureau et revisable à chaque fin d'exercice. Il en est de même du règlement général du bureau.

VII. Le Directeur du bureau s'interdit de faire acte d'entrepreneur ou de fabricant et d'accepter un intérêt quelconque dans une entreprise d'installation ou de construction d'appareillage électrique.

Voilà le bureau fondé. Son utilité certaine met bien des chances de son côté. Il y a des difficultés sans doute, et le succès final dépendra beaucoup du tact, de la compétence, de l'activité de sa direction.

La chambre syndicale, qui l'a compris, a choisi pour le diriger notre très distingué confrère Picou. Ce choix, justifié de tous points, nous paraît mettre toutes les chances du côté de l'institution nouvelle ; nous comptons avoir à constater bientôt son succès.

FRANK GÉRALDY.

LA THÉORIE POSITIVE

DE L'ELECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE

CONFIRMÉE PAR DES

OBSERVATIONS ET EXPÉRIENCES NOUVELLES [1].

Sans vouloir examiner par le menu les observations faites avec des différences de hauteur de quelques mètres, par lesquelles on arrive, à de rares exceptions, à une réussite conforme aux idées admises, c'est-à-dire que l'électricité atmosphérique croît avec les hauteurs, j'affirme que les choses se présentent sous un autre aspect lorsqu'il s'agit de différences de niveau de plusieurs centaines et même de plusieurs milliers de mètres, comme par exemple l'observatoire de l'Université et celui du Vésuve, ou bien Moncalieri et le Petit Saint-Bernard, etc.

J'ai plusieurs fois dit et répété que pendant la saison d'hiver à l'Université, par des jours sereins et sans vents violents, on a un potentiel plus élevé qu'à l'observatoire du Vésuve, mais que dans la saison d'été, spécialement pendant le jour, aux heures les plus chaudes, l'électricité se montre plus forte au Vésuve qu'à l'Université. De nuit, les choses se passent presque toujours inversement. Je regrette que M. André, s'appuyant sur une relation erronée de M. Exner, ait prêté à rire à tout Napolitain en plaçant l'Université sur le château Saint-Elme. L'observatoire de l'Université est en effet au *Gesù vieux* peu élevé au-dessus de la mer, ayant à l'ouest la colline de Saint-Elme, à un kilomètre de distance environ ; au nord, à une distance un peu plus grande, la colline de Miradois, sur laquelle se

[1] *La Lumière Électrique* du 14 janvier 1893, p. 69.

trouve l'observatoire astronomique de Capodimonte; à l'est le Vésuve, éloigné de 10 kilomètres, et au midi, la mer, éloignée d'environ 500 mètres (fig. 1).

La station du Vésuve n'est pas, comme le dit M. Exner, *sur la pente*, mais sur une crête du mont Somma distante de 3 kilomètres du cône vésuvien et entourée d'un horizon immense qui semble tout exprès disposé pour les observations de météorologie électrique [1]. Mais en admettant l'étrange topographie de M. Exner, d'après laquelle il voudrait expliquer les faits que j'ai observés, il faudrait dire pourquoi, toutes choses restant les mêmes en toute saison, on doit avoir en hiver une plus forte électricité à Naples qu'au Vésuve, tandis que dans les étés chauds, et de jour, l'observatoire du Vésuve doit l'emporter sur la station de l'Université.

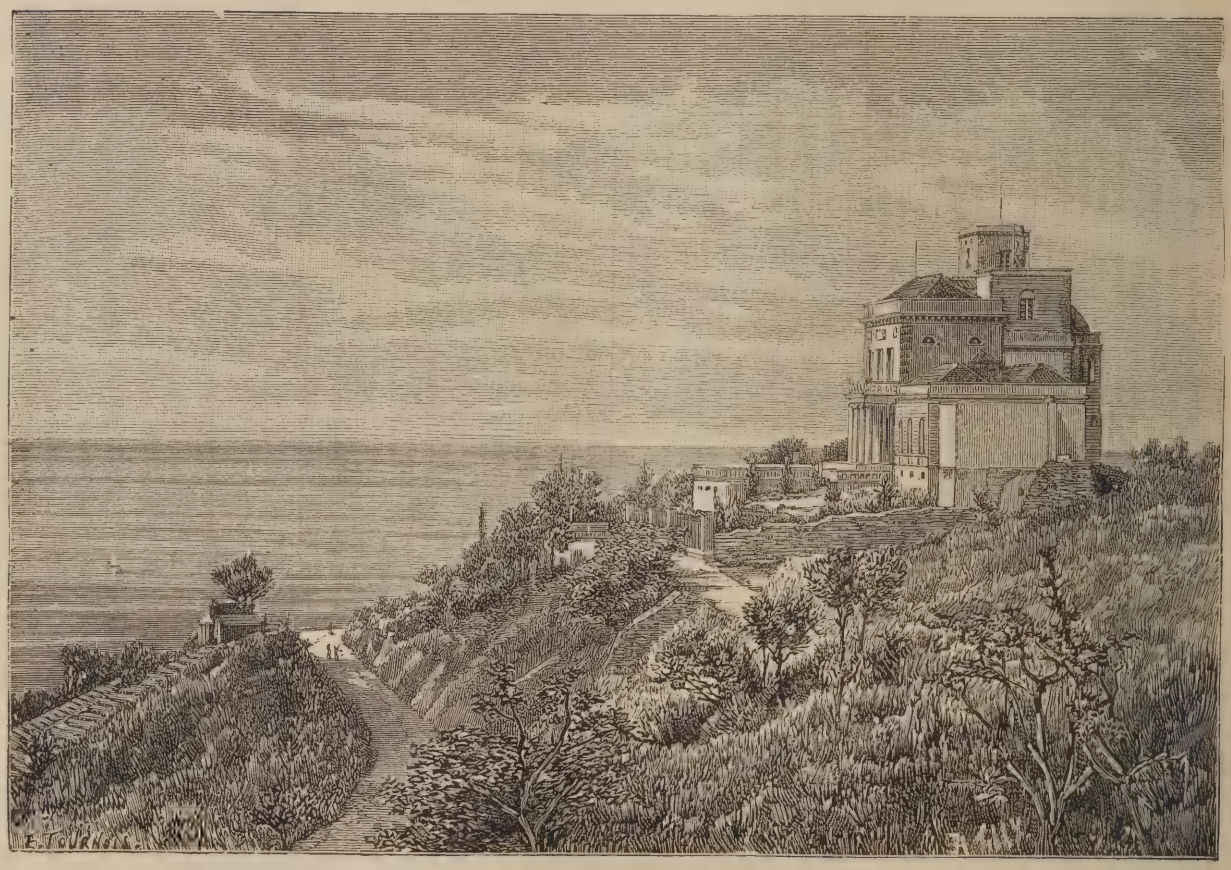


Fig. 1. — Vue de l'observatoire.

Remarquons encore que le maximum diurne, au Vésuve, se produit quelques heures après le maximum de l'Université, à l'inverse du maximum du soir, qui, au Vésuve, se montre un peu avant. On donne aisément l'explication de ces faits par la vapeur qui, s'élevant du sol, va se condenser à diverses hauteurs selon la manière dont se produit l'abaissement de température.

J'ajouterai pour M. Exner que, plusieurs fois, muni d'un appareil portatif en tout semblable à celui qui se trouve à l'observatoire, je suis allé faire des observations sur la cime la plus élevée du mont Somma, qui s'élève à 500 mètres plus haut que la station du Vésuve, et parfois même au sommet du cône volcanique, quand le volcan se reposait, et que les observations faites en ces points en même temps que d'autres essais que l'un de mes assistants faisait à l'observatoire ont toujours confirmé ce que j'ai avancé.

Je tiens à répéter aussi que dans les belles

[1] *La Lumière Electrique*, août 1885.

journées d'hiver que nous avons généralement quand le vent du nord ou du nord-est domine, et pendant lesquelles l'humidité relative est très faible à Naples, l'électricité l'emporte souvent au Vésuve sur celle qu'on observe à Naples, où l'humidité relative est moindre que celle qu'on note à l'observatoire vésuvien.

Mais tant que pour faire les observations chacun emploiera la méthode qu'il juge la meilleure, il sera impossible d'arriver à une conclu-

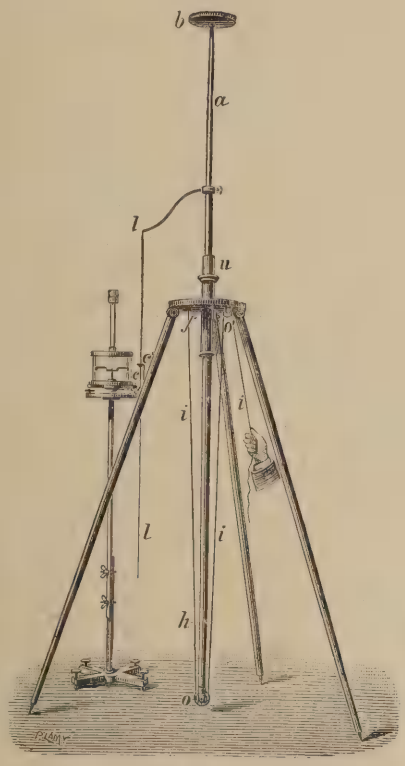


Fig. 2

sion quelconque. Si l'on emploie des ballons captifs pourvus de lampions allumés, en négligeant même les erreurs provenant du peu d'électricité que développent la combustion et la colonne d'air qui s'élève plus ou moins abondamment, soit calme, soit agitée, etc., il est clair que le fil métallique devenant plus long au fur et à mesure que le ballon s'élève, doit subir une influence plus grande; en sorte que, si l'aérostat atteignait les confins de l'atmosphère, on devrait avoir une influence maxima.

Avec la méthode du conducteur mobile (fig. 2) on a, au contraire, la véritable différence de potentiel entre le point le plus bas d'où le conducteur s'élève et le point le plus élevé qu'il atteint. Par suite, si l'on place plusieurs conducteurs égaux et semblables au même endroit et au même niveau, en les élevant tous à la même hauteur, on verra qu'ils donnent des indications égales. Si au contraire ils sont placés à différentes hauteurs et si on les élève en même temps de longueurs égales, de 1 mètre par exemple, les mesures faites avec des électromètres comparables donneront des résultats différents; et pour de petites différences de hauteur, on trouvera généralement que celui qui est placé en un point plus élevé donne quelque chose de plus. Mais si les deux appareils ont une différence de niveau de quelques centaines de mètres, les choses se passent autrement.

Prenons par exemple la station de l'Université et l'observatoire astronomique de Capodimonte, qui dépasse de 130 mètres la précédente station : choisissons les journées calmes et sereines du 26 au 31 juillet dernier (les jours précédents ayant été plus ou moins nébuleux, avec du vent par intervalles), et limitons-nous aux observations simultanées de 9 heures du matin et de 9 heures du soir; nous trouvons les résultats consignés dans le tableau ci-après, qui indique une tendance marquée à diminuer. U désigne l'Université et C Capodimonte.

Jours	9 heures matin		9 heures soir	
	U.	C.	U.	C.
26	18	24	40	11
27	18	7	54	27
28	22	18	60	42
29	48	28	62	29
30	29	14	40	46
31	28	32	48	30

Maintenant supposons qu'un ballon captif se soit élevé jusqu'au niveau de l'Université et un autre jusqu'au niveau de l'observatoire de Capodimonte; il est clair que l'on aurait recueilli avec le second des indications électriques plus énergiques; mais on n'aurait pas dû conclure de cela que l'électricité de l'air croît avec les hauteurs. Supposons encore que le conducteur mobile que j'emploie, s'élevant rapidement à un mètre de hauteur, communique à l'électromètre

un potentiel de 10 volts [1]; il est clair que si ce conducteur avait été élevé de deux mètres, l'électromètre aurait indiqué un potentiel d'un peu plus de 20 volts. Il ne serait pas permis d'en conclure que le potentiel serait devenu plus du double pour une course d'un autre mètre, attendu qu'après avoir élevé à un mètre de hauteur ledit conducteur mobile et après l'avoir déchargé sans l'abaisser, mais en l'élevant au contraire d'un autre mètre, on n'aurait trouvé qu'un peu plus de 10 volts : l'élévation de potentiel n'aurait donc été que de cette petite différence en plus.

Et à propos d'observations en ballon, il faut distinguer si l'aéronaute se trouve dans un ballon libre ou dans un aérostat retenu, c'est-à-dire captif, selon l'expression française. Dans le premier cas, il n'est pas possible de voir la différence de potentiel entre un point de l'atmosphère et le sol avec lequel on n'est plus en communication; il faut en outre distinguer quand le ballon s'élève et quand il s'abaisse, etc.

Pour me faire bien comprendre, j'aurais besoin de m'étendre sur ce sujet pour démontrer comment les aéronautes ont le plus souvent observé de l'électricité négative. Dans le cas d'un ballon captif, l'aéronaute gardant la communication avec le sol, il est facile de faire des observations plus concluantes.

Le professeur Eugène Semmola, profitant du long séjour parmi nous de l'aéronaute M. Spelterini, qui faisait de magnifiques ascensions avec son ballon l'*Urania*, résolut de faire des expériences bien combinées qui, je crois, n'ont jamais été tentées jusqu'alors. Avec l'aide des jeunes professeurs Léopold Ciccone et Philippe Campanile, il établit la communication électrique entre les appareils placés dans la nacelle et d'autres placés à terre. MM. Ciccone et Campanile montaient l'aérostat, M. Semmola expérimentait sur terre.

Par une journée calme et sereine, le ballon s'enleva avec une certaine rapidité. A terre les instruments accusaient de l'électricité positive, croissant de telle façon qu'elle devint très forte à la fin de la course, qui fut de 280 mètres : dans la nacelle, l'électricité était positive, mais très faible [1]. Le fil fut mis en communication avec le sol; l'électricité se montra fortement négative dans la nacelle et nulle sur les instruments placés à terre. Ces expériences furent répétées un autre jour : elles méritent l'attention des météorologistes. Je pourrais maintenant indiquer l'origine de l'électricité négative observée par les aéronautes en ballon libre, mais s'il fallait tout dire sur cette question, il y aurait à écrire un volume.

Je veux seulement noter que cette électricité croissant à l'extrémité inférieure du fil est évidemment induite et due au mouvement d'élévation de ce fil, comme la donnerait un conducteur quelconque qui s'élèverait de 280 mètres. Si après les dix premiers mètres de course on l'eût déchargé de l'électricité obtenue au bas et que cette opération eût été répétée pour chaque course de 10 mètres d'élévation, en mesurant les potentiels successifs, on aurait dû trouver des valeurs croissantes de ces potentiels, dans le cas d'augmentation avec les hauteurs, et l'inverse dans le cas des valeurs décroissantes; mais ce potentiel unique qu'on a observé étant la somme de tous les potentiels, ne fournirait pas aux partisans de la théorie ordinaire une raison de s'affirmer dans leur croyance. Et si ce que des hommes autorisés ont avancé en se basant sur des expériences mal interprétées, je le crains, était exact, chaque mètre devant faire gagner 100 volts, le professeur Semmola aurait dû trouver un potentiel de 28 000 volts, de sorte qu'il n'eût pu décharger impunément l'extrémité inférieure du fil, en engendrant dans la nacelle 28 000 volts d'électricité négative.

Je déduis de tout ce qui précède que si l'on ne s'entend pas sur la manière de faire les observations simultanées à des hauteurs différentes, on

[1] Je dis *un peu plus*, parce que ordinairement, pour de petites différences de hauteur et pour des courses égales, on obtient un peu plus avec le conducteur posé plus haut; car si l'électricité ne variait pas, on aurait eu 10 volts pour une seconde course d'un mètre, puis 20 volts pour un conducteur qui se serait élevé de 2 mètres et celui-ci ne pourrait donner moins de 20 volts, sans quoi cela dénoterait une diminution avec la hauteur, comme il adviendra quand les deux conducteurs seront placés à des niveaux sensiblement différents.

Et à propos de volt, je ne sais pourquoi on a supprimé dans le nom de Volta la voyelle finale, tandis que l'on dit : Coulomb, Joule, etc. Il est vrai qu'on devrait alors appeler un voltmètre, un voltamètre, ce qui engendrerait une confusion. L. P.

[1] Et si le ballon s'était élevé rapidement un peu plus haut, l'électricité serait devenue négative.

n'arrivera jamais à une conclusion certaine. Il me semble bien que le conducteur mobile avec l'électromètre bifilaire (fig. 3), grâce auquel on obtient des observations corrigées des erreurs dues aux pertes, comparables, et ramenées à des mesures absolues, est le mode le plus simple et le plus sûr pour ce genre de recherches. Les appareils graphiques ou enregistreurs, toujours compliqués et coûteux, et qui ne sont pas toujours d'une grande précision, seront utiles; mais

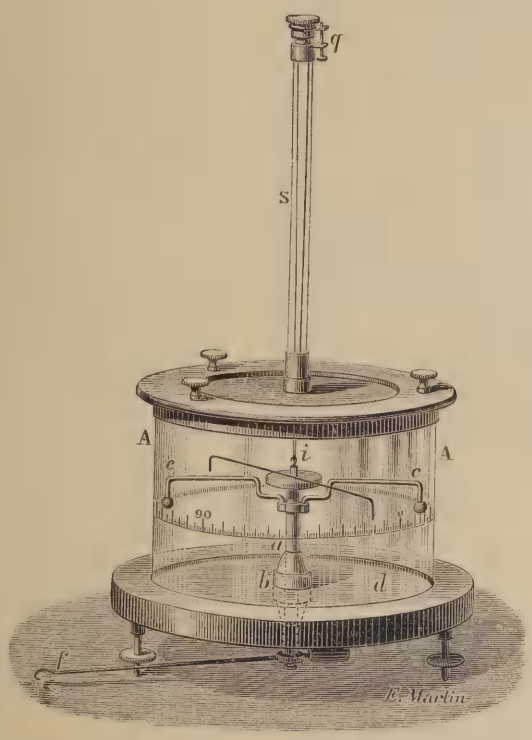


Fig. 3

les appareils à observations directes resteront toujours nécessaires. Si le savant professeur de l'École polytechnique de Paris [1] M. Cornu signale les appareils enregistreurs comme les plus formidables ennemis du progrès dans les études des phénomènes optiques de l'atmosphère, parce qu'ils dispensent l'observateur de regarder le ciel, on peut dire aussi qu'en météorologie électrique il en est de même et que la nécessité d'observer le ciel pendant les expériences s'impose. C'est à l'inspection de notre beau ciel, à la situation exceptionnelle de l'observatoire du Vésuve en face d'un horizon sans bornes et à une altitude de 637 mètres au-dessus de la mer, que je dois la découverte des lois et des origines de l'électricité de l'atmosphère; c'est ainsi que j'ai pu trouver la raison des variations que l'on peut observer à l'aide d'un appareil qui ne semble pas avoir été, jusqu'à présent, détrôné par aucun autre.

Une pluie apparaît sur la mer ou sur le continent, à très grande distance, et, portée par le vent, elle arrive souvent au point occupé par l'observateur, de telle sorte qu'il est facile d'en

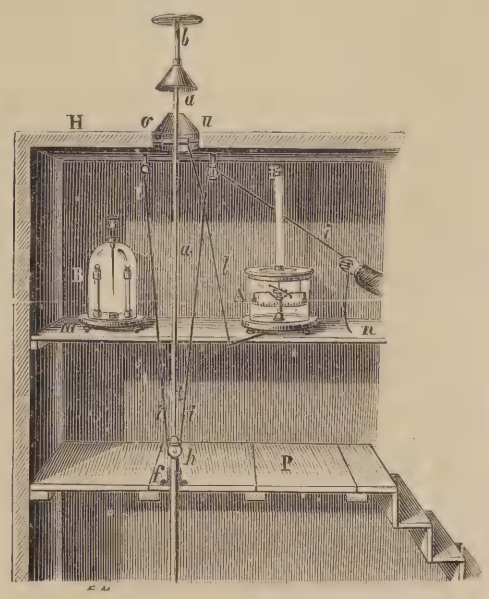


Fig. 4

suivre les phases. L'appareil à conducteur mobile (fig. 4) si simple, si pratique, permet de répéter les expériences à tout instant; chaque observation dure quelques secondes, l'électromètre étant parfaitement apériodique. Ces appareils sont fixes ou portatifs : quand les conducteurs sont égaux et que les électromètres ont été comparés une fois pour toutes, ils restent constamment d'accord [1]. Inutile de dire que mon appareil

[1] *Atmosphère*, nº 5.

[1] Je dois prévenir que bien que mon électromètre bifilaire fonctionne depuis de longues années, et malgré les perfectionnements que j'y ai apportés, des appareils construits en diverses villes d'Italie m'ont paru laisser à désirer sous le rapport de l'isolement. Le constructeur qui les exécute d'une façon parfaite est M. Joseph Caputo, mécanicien de l'Université de Naples. M. Ducretet, de Paris, qui en a commandé un modèle à Naples, pourrait

n'exige pas d'autres piles que les piles sèches de l'électroscope de Bohnenberger tel que je l'ai perfectionné [1].

Les appareils enregistreurs peuvent être employés lorsqu'on en a les moyens, mais comme auxiliaires des instruments à observations directes; car il faut reporter à l'aspect du ciel les variations que l'on observe, si l'on veut remonter à leur origine. Si, en quarante-deux ans d'expérience j'avais enregistré 15 000 courbes, je ne sais quel progrès cela eût fait faire à la science que je crois avoir amenée, au contraire, dans un domaine de faits bien prouvés, et avoir débarrassée de tant d'hypothèses désormais établies comme tout au moins inutiles.

Il me reste à présent à répondre au livre de M. Georges Dary, l'*Electricité dans la nature*. L'éminent écrivain est plus au courant de mes travaux, qu'il expose longuement dans son ouvrage. Il montre à mon égard une grande bienveillance, bien que nous différions d'opinion sur quelques points, et il s'exprime en ces termes :

« Les longues années que M. Palmieri a employées exclusivement à l'étude de l'électricité atmosphérique sont loin d'avoir été infructueuses : c'est la persévérance du météorologiste italien, ses études approfondies, ses continuelles expériences relatées dans de nombreux rapports, qui ont entraîné à sa suite les savants du monde entier et ont excité les recherches sur cette question difficile, etc. [2] ».

M. André, dans la critique qu'il fait de plusieurs théories se rapportant à l'origine de l'électricité atmosphérique, ne s'attache à aucune spécialement, tandis que M. Dary, admirateur des belles expériences de Gaston Planté, l'illustre inventeur des accumulateurs, à la mémoire duquel il dédie son ouvrage, admet l'idée d'une électricité positive dans notre planète, s'irradiant dans l'atmosphère, et cherche à trouver dans mes propres expériences, qu'il accepte, la preuve de sa conviction. L'idée d'une électricité primordiale de notre planète, ou mieux d'une électricité cosmique distribuée dans tous les corps célestes, paraît à M. Dary mériter créance. Aussi dit-il : « L'infatigable directeur de l'observatoire du Vésuve est toujours resté en face du but et ne s'en est pas détourné un seul instant. Mais la grandeur du sujet est telle que pour le traiter il faudrait s'élever par de larges conceptions qui permissent de le considérer dans son ensemble, etc. M. Palmieri s'est peut-être trop attaché aux détails, et il n'a pas suffisamment tiré parti de ses nombreuses observations pour arriver à des lois générales concluantes. »

Lorsque j'entrepris mes études de météorologie électrique, je constatai la nécessité d'avoir des appareils sensibles, susceptibles de mesures précises, comparables et corrigées des erreurs de déperdition. J'atteignis le but en perfectionnant mon électromètre bifilaire employé conjointement avec le conducteur mobile. Les observations me permirent d'établir les lois suivant lesquelles se manifeste l'électricité atmosphérique, et je trouvai fort clair le langage de la nature disant que nous observons une électricité non pas communiquée à nos conducteurs, bien exposés, mais induite par l'atmosphère dominante, soit qu'il survienne en celle-ci une condensation des vapeurs par simple accroissement d'humidité relative, soit par effet d'une condensation plus forte donnant des brouillards et des nuages pouvant atteindre le maximum lorsque ceux-ci se résolvent en eau ou en neige, en raison de la rapidité des averses.

Les expériences de laboratoire, conduites comme il le fallait, confirmèrent ce que la nature avait clairement démontré. Par suite, je m'expliquai clairement l'origine de la période diurne dans les journées calmes et sereines, et son absence ou sa perturbation avec des vents ou des nuages. Aussi claire me parut la cause

---

aussi en faire de pareils, s'il a bien saisi la composition du mastic isolant que j'ai trouvé et auquel on a donné en France le nom de *pécite*. (*Lumière Electrique* et *Dictionnaire d'électricité et de magnétisme*, de MM. Dumont, Leblanc et De la Bédoyère.

[1] Le savant directeur de l'observatoire de Lyon dit que dans l'appareil enregistreur employé par lui, les secteurs de l'électromètre sont chargés avec une pile Gouy de 24 éléments, et qu'une autre pile semblable de 90 éléments sert à la vérification de l'isolement de l'instrument. On vérifie cet isolement tous les jours vers 9 heures du matin et les isolateurs sont changés dès que la perte de charge dépasse un dixième; chaque semaine on fait une graduation, etc. Dans mon appareil, l'électromètre conserve sans altérations et constamment, sa sensibilité. Par une très forte humidité, il éprouve des pertes que l'observateur peut voir, évaluer, dont il peut tenir compte sur ses registres et qu'il peut aussi faire disparaître à l'aide de petites opérations.

[2] Voir l'ouvrage cité, page 35

de la période annuelle pendant laquelle nos instruments accusent dans les journées calmes et sereines, pendant les fortes chaleurs de l'été, une électricité plus faible, parce que la hauteur à laquelle les nuages doivent s'élever pour se condenser est plus grande; aussi le potentiel observé à la station du Vésuve à ces époques et à ces heures de la journée est-il plus élevé que celui que l'on note à l'Université.

La période annuelle démontre que les plus forts potentiels correspondent aux mois où l'humidité relative prévaut, et que les plus faibles correspondent aux mois d'été où l'évaporation est maxima avec de rares condensations. Pour cette raison, dans les mois chauds et pourtant de plus grande humidité absolue, la quantité d'électricité contenue dans l'atmosphère est plus grande, mais ne peut se manifester que s'il survient une condensation. Et, comme pour des abaissements égaux de température dans des milieux saturés à des températures différentes, on doit recueillir une plus grande quantité d'eau de celui qui est le plus chaud, ainsi l'on s'explique pourquoi l'intensité des pluies d'été est plus forte, et par suite pourquoi il y a de plus fortes tensions électriques qui, le plus souvent, engendrent des foudres. Mais comme l'on sait qu'une électricité ne se manifeste jamais sans une autre de sens contraire, comment arrive-t-il que la vapeur qui se condense donne seulement de l'électricité positive, sauf le cas de pluie ou neige, où l'électricité négative se montre dans une zone environnante, non comme produite, mais comme induite ?

Ceci fait soupçonner que cette électricité positive naît au moment de l'évaporation, en même temps que la négative, qui se perd par l'immense surface de notre planète, tandis que l'autre reste d'abord dissimulée ou latente, par suite de l'énorme capacité acquise par la vapeur dans son expansion, pour reparaître d'une façon plus ou moins appréciable lors de la condensation de cette vapeur.

Qui ne connaît les expériences à l'aide desquelles on démontre dans les écoles que dans un conducteur la tension, comme disait Volta, diminue avec l'augmentation de capacité et croît si la capacité diminue. Il faut donc voir si, dans l'évaporation de l'eau, on obtient des manifestations d'électricité négative. Les nombreuses expériences faites par Alexandre Volta et par une infinité de physiciens n'avaient pas amené à une conclusion certaine; je m'efforçai, pour ma part, d'éviter les objections faites à toutes les expériences antérieures, en modifiant, en cherchant diverses manières d'opérer, et j'obtins des résultats affirmatifs; mais, comme les raisonnements captieux ne devaient pas manquer pour interpréter les phénomènes annoncés, je tentai, avec plein succès, l'expérience de l'évaporation spontanée produite par les rayons solaires, qui supprimait absolument tous les doutes.

Alors que des observations bien menées et les expériences les plus concluantes me montraient que l'électricité prenait son origine éloignée dans l'évaporation, et son origine rapprochée, c'est-à-dire immédiate, dans la condensation de la vapeur, je ne croyais pas que ma synthèse eût besoin d'être étayée par des raisons cosmogoniques. Le professeur Edlund convenant avec moi, sans me citer pourtant, que l'électricité est transportée dans l'air par la vapeur, pour se développer avec la condensation de celle-ci, eut recours, pour expliquer ce transport d'électricité dans l'atmosphère, à l'induction unipolaire. Mais cette explication, malgré tout le concours de mathématiques qui l'accompagnait, était considérée physiquement comme absurde, et après quelques expériences de M. Exner il ne semble pas qu'elle puisse être invoquée.

J'ai dit que M. Dary, désireux d'admettre une électricité positive originaire de notre planète, souhaiterait que les faits observés par moi pussent prouver, ou pour le moins ne pas contrarier, les hypothèses de M. Planté. Je suis admirateur de cet illustre physicien français, mais je ne puis nier des faits qui détruisent cette hypothèse, à laquelle l'auteur lui-même n'attachait peut-être pas une grande importance.

L'idée d'une électricité propre de la terre, émise depuis longtemps, fut accueillie avec complaisance par Beccaria; mais après Peltier, qui, en attendant, donnait à la terre de l'électricité *résineuse*, et aux espaces planétaires de l'électricité *vitrée*, cette opinion fut abandonnée pendant quelque temps, puis de nouveau reprise, de nos jours, avec une grande légèreté et sans preuves. M. Pellat prouve l'existence de l'électricité de la terre par le raisonnement sui-

vant : si le potentiel d'un corps croît lorsqu'il s'éloigne de la terre, c'est une preuve que celle-ci est électrisée ; mais je demande s'il n'en serait pas de même si ce corps s'approchait, en s'élevant, d'une couche d'air ou d'un nuage électrisé positivement ? Quelle raison a-t-on de placer l'électricité dans le sol et non dans l'air ou dans les espaces planétaires, ou bien la positive dans ceux-ci et la négative dans le sol, comme Peltier l'avait supposé ?

La période moderne de la météorologie électrique commence avec les travaux de Peltier, qui m'engagèrent en 1848 à faire des études à ce sujet. Je parvins à démontrer expérimentalement que les corps faisant saillie à la surface de la terre sont réellement chargés, en temps ordinaire, d'électricité négative. Ces expériences exposées dans mon mémoire de 1850, je les développai dans un autre travail publié en 1883, qui, traduit en français par M. Marcillac, fut imprimé à Paris en 1885 (1).

Il m'est impossible de rappeler ici les expériences variées qui démontrent matériellement que, quand les appareils ordinaires indiquent de l'électricité positive dans l'air, les corps faisant saillie à la surface du sol accusent de l'électricité négative et que, quand par l'effet de la pluie ou de la neige tombant à une certaine distance du lieu des observations, l'électricité de l'air se montre négative, les corps en saillie accusent de l'électricité positive ; je n'en rappellerai qu'une seule.

Placez-vous en un site autour duquel vous aurez un horizon parfaitement découvert ; prenez un conducteur isolé communiquant par un fil métallique avec un électroscope Bohnenberger, déplacez horizontalement ce conducteur dans une direction quelconque, mais bien horizontale, l'électroscope ne vous donnera aucune indication d'électricité ; mais il suffira qu'un homme se trouve auprès de vous pour que vous voyiez ce conducteur approché de cet homme accuser de l'électricité négative (par un temps ordinaire). Si ce conducteur est touché par l'homme ou par vous, la feuille d'or redevient verticale ; si l'on éloigne alors ce conducteur horizontalement de la personne susmentionnée, on verra la feuille d'or indiquer de l'électricité positive. Il est inutile de prévenir que l'on obtiendra les mêmes effets si au lieu d'un homme il existe un pilier, un arbre, un mur ou un rocher.

Mais si l'observateur se trouve dans la zone d'électricité négative qui entoure une pluie orageuse ou non, les choses se passeront de façon inverse, c'est-à-dire que les corps faisant saillie sur le sol montreront de l'électricité positive par le rapprochement, et négative par l'éloignement. Cette électricité, que j'appelle de *rapprochement* et d'*éloignement* et que je jugeais digne de l'attention des météorologistes, semble avoir été négligée bien à tort. Elle montre que l'électricité du sol est toujours l'opposé de celle de l'air et croît ou décroît proportionnellement ; aussi, par des temps de très forte électricité due à de la pluie que l'on voyait tomber à distance du sommet de la tour météorologique de l'Observatoire, suffisait-il d'approcher la main du conducteur extérieur de mon électromètre mis sur un banc de maçonnerie, pour voir l'index sauter au-delà de 90°.

Il arrive parfois que l'observatoire du Vésuve et celui de l'Université se trouvent dans deux zones différentes qui entourent une pluie lointaine ; alors, tandis que sur un des points il y a dans l'air une très forte électricité positive, et sur l'autre point une très forte électricité négative, si l'on examine, de la façon indiquée plus haut, l'électricité du sol, on la trouve négative là où celle de l'air est positive, et positive là où celle de l'air est négative ; et comme, bien que plus rarement, le même effet se produit entre l'observatoire de Capodimonte et l'Université, chacun peut voir que l'électricité du sol, soupçonnée par beaucoup et démontrée par moi, est induite par celle de l'air dominant ; et pourtant par les temps ordinaires elle est négative, précisément parce que celle de l'air est positive.

Etant donné et prouvé que l'électricité du sol est constamment de signe opposé à celle de l'air et d'intensité proportionnelle, il me sembla juste de conclure que l'une est inductrice et l'autre induite ; et bien qu'il existât beaucoup de raisons pour dire que l'inductrice était dans l'air et l'induite dans le sol, il me parut utile de le prouver expérimentalement.

On sait que si dans le champ d'un corps électrisé on place un conducteur isolé à l'état neutre, celui-ci prendra deux états électriques

(1) *Lois et origines de l'électricité atmosphérique.* — Paris, Gauthier-Villars, 1885.

opposés, c'est-à-dire de l'électricité contraire dans la partie la plus rapprochée de l'inductrice, et l'homologue dans la partie la plus éloignée; le corps inducteur cependant n'a rien perdu; par conséquent, l'électricité qui se trouve dans l'induit ne doit pas être considérée comme communiquée. Mais si l'induit a des pointes dans la partie la plus éloignée de l'inducteur, où se trouve l'électricité semblable, celle-ci disparaîtra en très peu de temps, et l'induit conservera l'électricité contraire; de telle sorte que, dans un court intervalle, on aura ce que l'on aurait obtenu rapidement si l'induit avait été mis en communication avec le sol, ne fût-ce qu'un instant. Si ces pointes se trouvaient dans la partie de l'induit la plus voisine de l'inducteur, l'électricité contraire de l'induit disparaîtrait, et celui-ci resterait chargé d'électricité homologue seulement, et l'inducteur aura perdu ce que l'induit a gagné.

Aussi, laissant de côté les explications que l'on donnait avec les anciennes hypothèses auxquelles on ne croit plus, bien que l'on use encore de l'ancien langage. m'appuyant sur les faits, je dis que les pointes dans la partie postérieure de l'induit, équivalent à une communication de celui-ci avec le sol, et que celles placées dans la partie antérieure équivalent à une communication de l'inducteur avec l'induit. Notons seulement que les pointes demandent un certain temps pour accomplir leur effet, qui, avec le contact, serait instantané.

Prenons une tige métallique terminée par deux sphères et plaçons-là, bien exposée et verticale, à l'air libre, dans un site favorable, par une journée calme et sereine; si ce conducteur communique avec un électroscope sensible, ce dernier indiquera de l'électricité positive, et si l'on touche le conducteur, l'électroscope reviendra à zéro. Il n'est pas même utile d'ajouter que si ce conducteur est élevé rapidement, l'électroscope indiquera de nouveau de l'électricité positive, et que si ensuite on le décharge et on l'abaisse, il indiquera de l'électricité négative. Il s'agit donc d'électricité induite, et comme celle de même signe est seule transmissible, on en conclut que l'inductrice est positive et réside dans l'air. Mais puisque ce conducteur ramené à zéro, restant exposé et immobile, recommence facilement à donner des indices plus ou moins forts d'électricité positive, il est clair que cela doit arriver à chaque accroissement de l'électricité inductive; que si celle-ci subissait une notable et rapide diminution, l'électricité négative restée *dissimulée*, comme nous disons en Italie, devenant libre ou *vengeresse*, comme eût dit Beccaria, ferait croire que l'électricité de l'air a changé. Lorsque les observations de météorologie électrique s'opéraient à l'aide de conducteurs fixes, qui sait combien de fois l'on a cru observer de l'électricité négative qui n'existait pas.

Après avoir démontré expérimentalement que les corps saillants à la surface de la terre sont d'habitude électrisés négativement et ne sont électrisés positivement que lorsqu'ils se trouvent dans la zone négative entourant le nuage qui se résout en eau ou en neige, et après avoir vu clairement que l'électricité observée sur les conducteurs exposés à l'air libre est induite et non pas communiquée par contact de l'air environnant, j'ai voulu demander à l'expérience, d'une façon encore plus évidente, où résidait l'électricité inductive, si c'était dans le sol ou dans l'air, puisque Peltier et d'autres la supposaient dans le sol, la plupart voulant qu'elle soit négative, tandis que Planté et M. Dary la considèrent comme étant positive.

J'exposai un conducteur vertical terminé par deux sphères, en un point convenable, à l'air libre; il était bien isolé et communiquait avec un électroscope; il me donna des signes d'électricité positive. Je remplaçai le globe supérieur par une aigrette de pointes métalliques, et l'électroscope indiqua, quelques minutes après, une plus forte électricité positive; cela pouvait suffire pour conclure que l'électricite inductrice était positive et se tenait du côté des pointes, c'est-à-dire en l'air; alors, en renversant le conducteur, portant les pointes vers la terre, si l'électricité inductrice avait résidé dans le sol, l'électroscope aurait dû l'indiquer, tandis qu'au contraire il restait à zéro ou donnait parfois quelque très faible indice d'électricité positive. Ceci semble à M. Dary un fait précieux pour prouver l'hypothèse de Planté qui supposait que notre globe était chargé d'électricité positive. Je prie M. Dary de faire attention à ces deux choses :

1° Que le conducteur, avec les pointes en haut, aurait dû perdre l'électricité de même nom que l'inductrice, qui aurait été la positive éma=

nant du sol placé au-dessous de lui, et rester électrisé négativement, en sorte que, éloigné du sol, il se serait montré chargé d'électricité négative; et pourtant c'est le contraire qui se produisait;

2° Que les pointes étant à la partie inférieure auraient dû accuser d'une façon permanente de l'électricité positive; celle-ci aurait dû apparaître plus intense si l'on abaissait le conducteur; or, si l'on fait l'expérience, on obtient au contraire de l'électricité négative.

Les faibles et rares indices d'électricité positive que j'ai remarqués sont la conséquence du temps nécessaire aux pointes pour perdre l'électricité induite de l'air dominant, qui est positive, et pendant ce temps l'électroscope peut en donner des traces. En supposant dans le sol de l'électricité négative, ou pourrait expliquer certains faits; mais si l'on admet qu'il s'y trouve une électricité primordiale positive, on se trouve en contradiction complète avec ce qui se passe.

Après avoir prouvé par des expériences que l'électricité négative existe dans le sol, sans pluie à distance, je me suis efforcé de prouver que cette électricité est induite et non pas inductrice, et que l'inductrice se trouve dans l'atmosphère. Les preuves fournies sont tellement concluantes qu'aucun doute n'est plus possible.

Le savant ouvrage de M. Dary m'entraînerait à dire beaucoup d'autres choses; mais je suis certain que s'il arrive à abandonner l'hypothèse de l'électricité primordiale positive de la terre, nous tomberons d'accord et resterons toujours les admirateurs des beaux et importants travaux de Gaston Planté. Et cet accord me paraît d'autant plus probable que je vois ces mots dans le livre précité : « Le savant italien ne met pas en doute que l'électricité du sol soit négative, ainsi que de nombreux observateurs l'ont affirmé [1], et il réussit à démontrer par des expériences répétées que le sol est chargé négativement quand le potentiel atmosphérique est positif [2] ».

Il en est de ces théories, qui en contrarient ou détruisent d'autres, ce qu'il en est de toute innovation. L'histoire des sciences prouve que nulle découverte n'a pris naissance sans avoir à lutter contre des erreurs de vieille date édifiées pour le plus grand dommage des sciences.

Je n'invoquerai pas la guerre faite à Jenner pour sa greffe de la variole, ni le souvenir d'autres découvertes violemment combattues; mais je rappellerai que Joule, occupé à ses recherches sur la valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur, ne trouvait pas une revue qui consentît à publier ses mémoires, et que l'illustre Ohm fut destitué parce que l'on croyait qu'il enseignait des choses erronées. Quelques années seulement nous séparent du jour où sa patrie ouvrait une souscription internationale pour lui élever un monument.

L. Palmieri.

[1] *Supposé* et non *affirmé*.
[2] Voir page 113, ouvrage cité.

CHRONIQUE ET REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

Electrolyse au mercure Kellner (1892).

L'appareil de M. Kellner est caractérisé par l'emploi de cathodes en mercure fort ingénieusement disposées.

Ainsi qu'on le voit en figure 1, ce mercure B B_1 est enfermé entre des plaques A A_1, en matière poreuse : poterie, carton d'amiante gélatinisé, collé sur des ardoises perforées, laine de laitier, charbon et amidon réduit en pâte avec une dissolution de sulfate de soude concentré et pris entre deux ardoises perforées, cuir, etc., en un mot, en toute matière inattaquable laissant passer le courant et les ions.

Le mercure occupe l'espace, le plus étroit possible, ménagé entre les parois A A et la plaque C (fig. 1), en fonte, creuse, remplie de plomb, et à laquelle on attache par des vis E l'auge à réaction D, qui plonge dans le mercure à une profondeur facile à régler.

Les anodes H H_1, en carbone, fonte, phosphate de plomb..., sont pourvues de cloches J J_1 pour faciliter l'évacuation des gaz par les tuyaux N N_1.

Les auges D sont remplies d'eau ou, plus généralement, du liquide auquel doivent se combiner les cathions dégagés, et qui passe en cascade

d'une auge à l'autre, de manière à se concentrer de plus en plus.

On peut remplacer les parois A A_1 avec plaques intermédiaires C par des plaques creuses obtenues en moulant leur matière sur des peignes ou grils métalliques, que l'on retire ensuite.

Ces plaques réservent alors au mercure un espace vide B (fig. 4) découpé, par les vides que laissent les barreaux du peigne, en canaux *a* surmontés d'un évasement D (fig. 2) qui remplace les auges de la disposition précédente.

Ces cathodes plongent (fig. 2 et 3), ainsi que les anodes H, dans une grande auge L, au travers d'un couvercle L_1, à joint hydraulique au pétrole $l\,l_1$, et à garnitures au ciment l_3. Les anodes sont reliées au circuit par des attaches h_1, plongeant dans un godet de mercure recouvert d'une couche de pétrole lourd.

Les évasements D des cathodes sont réunis par un trop plein M. L'électrolyte circule de S en T, suivant les flèches, en zigzag le long du cloisonnement constitué par les anodes et les cathodes. Le chlore, dans le cas du chlorure de sodium, se dégage en H, puis s'évacue en Q, tandis que la

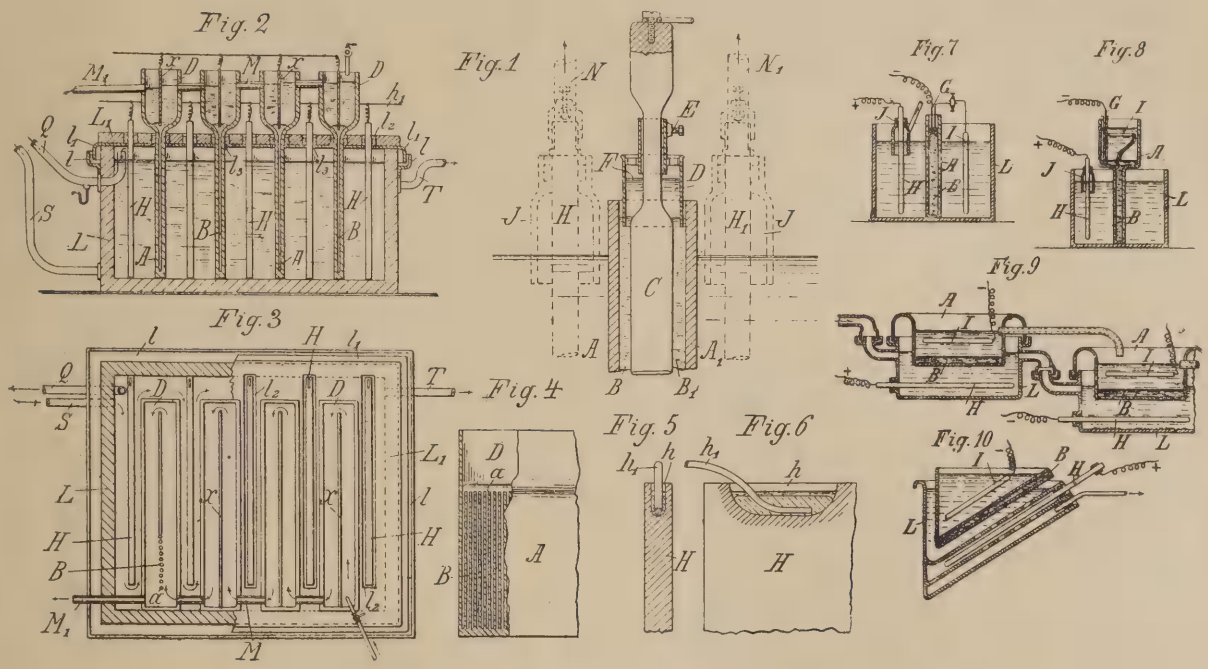


Fig. 1 à 10. — Kellner. Electrolyse.

soude, traversant les parois A A_1 des cathodes, s'unit à leur mercure en un amalgame qui surnage, puis se décompose dans l'eau de D en mercure et en soude presque pure, emportée par le trop plein M, en se concentrant de plus en plus en passant d'une cathode à l'autre vers M_1, suivant un trajet que l'on peut allonger encore en cloisonnant, comme en *x*, les évasements D.

En rendant ces évasements étanches et en y faisant circuler du mercure au lieu d'eau, on peut y recueillir du sodium, du potassium, etc. sous forme d'amalgames.

La figure 7 représente un appareil à double électrolyse, composé de deux auges : l'une primaire, avec anode en carbone H, et l'autre secondaire, séparée de la première par une cloison à mercure B, qui empêche le mélange des liquides des deux auges.

L'auge primaire renferme, par exemple, du chlorure de sodium, et l'autre de l'eau. Quand on fait passer le courant comme l'indique la figure 7, le chlore se dégage en J et le sodium forme avec le mercure un amalgame, qui devient comme l'anode de l'auge secondaire, et se décompose en formant avec l'eau de cette auge une dissolution de soude s'enrichissant à mesure que le chlorure s'électrolyse dans l'auge primaire.

En figure 8, l'eau coule sur le mercure B, dans l'auge A, disposée avec la troisième électrode I au-dessus du mercure B. L'electrode I doit

alors être reliée au mercure par un conducteur isolé.

On peut enfin disposer le mercure B horizontalement (fig. 9), ou obliquement (fig. 10), ce qui facilite la montée de l'amalgame léger de sodium à la surface du mercure, mais aux dépens de la simplicité de l'appareil.

M. Kellner indique quelques procédés de fabrication des plaques permettant d'y loger le mercure en une lame continue extrêmement mince.

Ces procédés sont les suivants :

1° Faire une plaque en un mélange de ciment, d'argile en poudre et de silicate de soude, sur laquelle on étale, en une épaisseur égale à celle que l'on veut pour le mercure, une couche de précipité de chaux, que l'on recouvre d'une plaque plastique surmoulée, semblable à la première. Après avoir laissé le tout durcir pendant plusieurs jours, on le plonge dans une dissolution d'acide chlorhydrique étendu, qui dissout la chaux et laisse à sa place le vide prêt à loger le mercure ;

2° Opérer comme précédemment en remplaçant la chaux par une toile métallique trempée dans du nitrate de mercure, puis dans du mercure ;

3° Argenter, par la méthode de Liebig, par exemple, deux cartons d'amiante sur une face seulement, amalgamer ces faces, puis les superposer en expulsant par pression le mercure en excès.

On obtiendrait ainsi, d'après M. Kellner, des diaphragmes très robustes, à lames de mercure excessivement minces, n'opposant presque pas de résistance au passage du sodium.

Dans le premier appareil de M. Kellner (fig. 2) le mercure qui sert d'intermédiaire entre l'électrolyte et l'eau en D, forme avec le sodium un amalgame décomposé par l'eau de D, qui en enlève le sodium mécaniquement, à l'état de soude dissoute ; dans le second appareil, cette séparation du sodium s'opère électriquement, par le courant de l'auge secondaire, dont l'action s'ajoute à celle du courant principal et en améliore le rendement. Enfin, dans tous les cas, le mercure est employé sous une forme rationnelle, en faible quantité, en grandes surfaces, et presque sans pertes.

G. R.

Station centrale d'électricité de Mulhouse.

La station centrale de Mulhouse a été établie en 1888 par MM. Siemens et Halske. Quoique d'une importance modeste, cette usine offre cependant un sujet d'étude intéressant, car elle représente l'un des types de stations centrales le plus en faveur aujourd'hui. Nous extrayons de la description qu'en a donnée M. Glassmann [1] les renseignements suivants :

Cette installation, actuellement d'une puissance de 800 chevaux, comprend en résumé :

1. Deux générateurs à vapeur ;
2. Deux moteurs à vapeur ;
3. Deux machines dynamo à courant continu couplées directement sur les moteurs ;
4. Une batterie d'accumulateurs ;
5. Un réseau de câbles souterrains ;
6. Les appareils de contrôle et de distribution.

1. *Générateurs à vapeur.* — Les chaudières sont tubulaires, du système de Naeyer, et ont été construites, ainsi que les moteurs, par la Société alsacienne de constructions mécaniques ; voici les données générales se rapportant à chacune d'elles :

Surface de chauffe	195 m²
Surface de grille	4,4 m²
Nombre de tubes	144
Longueur des tubes	4 m.
Diamètre intérieur des tubes	98 mm.
Diamètre extérieur des tubes	115 mm.
Capacité d'eau	6700 litres.
Capacité de vapeur	3300 litres
Pression	8 kg : cm².

L'alimentation se fait au moyen d'une pompe à vapeur et de deux injecteurs. L'eau est prise dans un réservoir à niveau constant placé au-dessus de la pompe et alimenté par la distribution d'eau de la ville.

Les gaz de la combustion sont évacués par une cheminée dont les dimensions principales sont les suivantes :

Hauteur	35 mètres.
Diamètre intérieur à la base	2 —
— — au sommet	1,5 m.

Comme l'indiquent ces dimensions, la cheminée est établie en vue d'une augmentation notable de la puissance des générateurs, augmenta-

[1] *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse.*

tion pour laquelle un emplacement est réservé à côté des chaudières existantes.

2. *Moteurs à vapeur.* — Les moteurs à vapeur sont du type pilon à deux cylindres compound, avec condensation. Les dimensions principales de ces machines sont :

Diamètre du cylindre à haute pression	390 mm.
— — basse —	550 —
Course des pistons	400 —
Nombre de tours par minute	140 à 160.
Puissance normale à 160 tours	180 chevaux.

Le régulateur est muni d'un contrepoids réglable qui permet de faire varier la vitesse entre 140 et 160 tours par minute, suivant les exigences du service.

La vapeur est amenée aux moteurs par une conduite formant un circuit fermé, munie des valves nécessaires pour pouvoir, pendant la marche, mettre hors de fonction la moitié de la conduite dans le cas où une fuite importante viendrait à se produire accidentellement. Des purgeurs sont intercalés dans le voisinage direct des machines.

En marche habituelle, la vapeur d'échappement passe par le condenseur, qui lui-même se décharge dans l'égout de la rue. En cas d'accident au condenseur, une valve permet d'évacuer directement la vapeur d'échappement par une conduite souterraine qui débouche dans la cheminée. L'eau est fournie au condenseur par un puits qui se trouve près des chaudières.

De construction robuste et soignée, ces moteurs donnent une marche régulière et sûre, exempte d'accidents pouvant provenir d'échauffement anormal ou d'usure trop rapide des parties fatiguées; eu égard à leur puissance, ils occupent un espace très restreint et leur consommation de vapeur est relativement faible, des essais minutieux ayant donné le chiffre de 8,110 kilogr. par cheval-heure, y compris la vapeur condensée dans l'enveloppe du cylindre.

3. *Dynamos.* Les dynamos sont du type Siemens, avec induit en forme d'anneau enveloppant le noyau inducteur à six pôles. Ce dernier est boulonné au bâti de la machine à vapeur, qui reçoit également, sur le prolongement de son arbre de couche, le croisillon en fonte sur lequel est fixé l'induit.

Ainsi reliées intimement, la machine à vapeur et la dynamo forment une machine unique. Cette disposition forme un ensemble très compact qui réduit au minimum l'emplacement nécessaire, le personnel pour surveiller les machines, les chances d'arrêts provenant d'accidents aux organes de transmission, le prix des machines et de leur entretien.

L'enroulement induit est formé de lames de cuivre découpées en U, dont la partie fermée est à l'intérieur de l'anneau. Ces lames sont soigneusement isolées et une branche de chacune d'elles est reliée à la branche opposée de la suivante par une barre en cuivre portant à chacune de ses extrémités une entaille pour l'assemblage, qui est soudé.

La périphérie de l'induit est soigneusement tournée et fait l'office de collecteur. Chaque spire de l'induit formant une barre du collecteur, autrement dit, le collecteur étant formé d'un très grand nombre de lames, la différence entre deux consécutives de ces lames est très faible, et l'on évite ainsi complètement les étincelles aux balais.

Un système de leviers permet de déplacer les balais sur le pourtour de l'induit, de modifier leur calage, et de les appliquer sur l'induit ou de les en détacher tous à la fois. Les porte-balais sont réunis en quantité ; chaque groupe de balais livre donc passage au tiers du courant total, ce qui, joint à la grande surface du collecteur, diminue considérablement l'échauffement et l'usure de ces organes.

Avant de quitter les machines, signalons deux treuils roulants disposés parallèlement dans le sens de la longueur du local, pour faciliter le démontage et le montage en cas de réparations.

4. *Accumulateurs.* — Pour assurer une utilisation rationnelle des machines et augmenter la sécurité du fonctionnement, l'usine est pourvue d'une batterie d'accumulateurs. Les deux salles inférieures du bâtiment renferment chacune 128 éléments d'accumulateurs Tudor, d'une capacité de 645 ampères-heures; leur courant maximum à la charge est de 161 ampères ; leur courant normal de décharge, de 193 ampères. Un autre local contient 128 éléments du même système, d'une capacité de 375 ampères-heures: courant maximum à la charge, 63 ampères; courant normal à la décharge, 75 ampères. Ces trois groupes réunis peuvent fournir normalement 145 chevaux pendant trois heures et demie, ce qui porte le nombre total de chevaux que peut

fournir l'usine actuellement à 505 chevaux, 360 par les machines et 145 par les accumulateurs.

Pour indiquer le régime que suit la tension pendant la charge et la décharge de ces accumulateurs, nous reproduisons les courbes relevées au moyen d'un élément d'une capacité de 920 ampères-heures avec un courant normal de

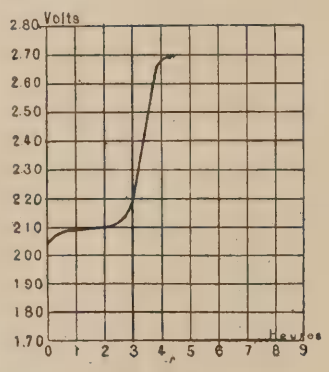


Fig. 1

276 ampères à la décharge et 230 ampères à la charge.

La figure 1 montre les variations de tension en maintenant constant le courant de 230 ampères pendant toute la durée de la charge, qui s'effectue en 4 heures 25 minutes.

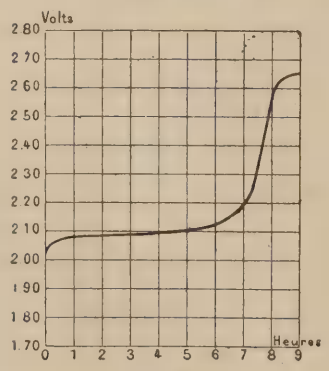


Fig. 2

Pour la figure 2, la charge a lieu en maintenant le courant constant à la moitié de sa valeur maximum, soit à 115 ampères; dans ces conditions la charge dure 8 heures 40. Le travail absorbé par la charge est sensiblement le même dans les deux cas, mais on remarque que lorsque la charge se fait à 115 ampères, la tension reste inférieure à celle atteinte lorsque la charge se fait à 230 ampères.

La figure 3 montre les variations de la tension à la décharge, qui est effectuée avec un courant constant de 276 ampères. La capacité utile, dans ce cas, est de 920 ampères-heures.

La courbe figure 4 est obtenue par la décharge avec un courant constant de 158 ampères. La capacité utile est ici de 1320 ampères-heures.

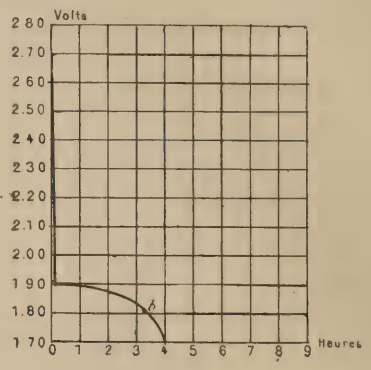


Fig. 3

Comme l'indiquent ces courbes, pendant les deux premières minutes la tension descend subitement de 2,6 à 1,9 volts et diminue ensuite insensiblement jusqu'à 1,83 volt (point *b*), pour tomber alors à une valeur presque nulle.

Les accumulateurs faisant face pendant la

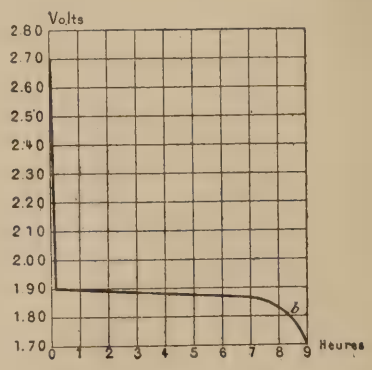


Fig. 4

journée à la consommation de courant, qui est alors relativement minime, les machines dynamo n'ont à fonctionner que le soir, pendant les heures de grande consommation, et le temps nécessaire à la charge des accumulateurs.

On peut toujours régler le nombre des machines en marche et le courant de charge de telle sorte que les machines travaillent constamment avec une charge normale et par con-

séquent dans des conditions aussi économiques que possible.

Comme le service des accumulateurs exige une surveillance presque nulle, il en résulte que le personnel est réduit au minimum ; ce personnel comprend : deux machinistes, un aide et un chauffeur. En dehors du service intérieur, les machinistes peuvent encore s'occuper de la pose des câbles de branchement.

Le diagramme donné par la figure 5 indique la consommation de courant dans le réseau et la répartition du travail des machines et des accumulateurs pendant une journée du mois de décembre 1891. A l'examen de ce diagramme

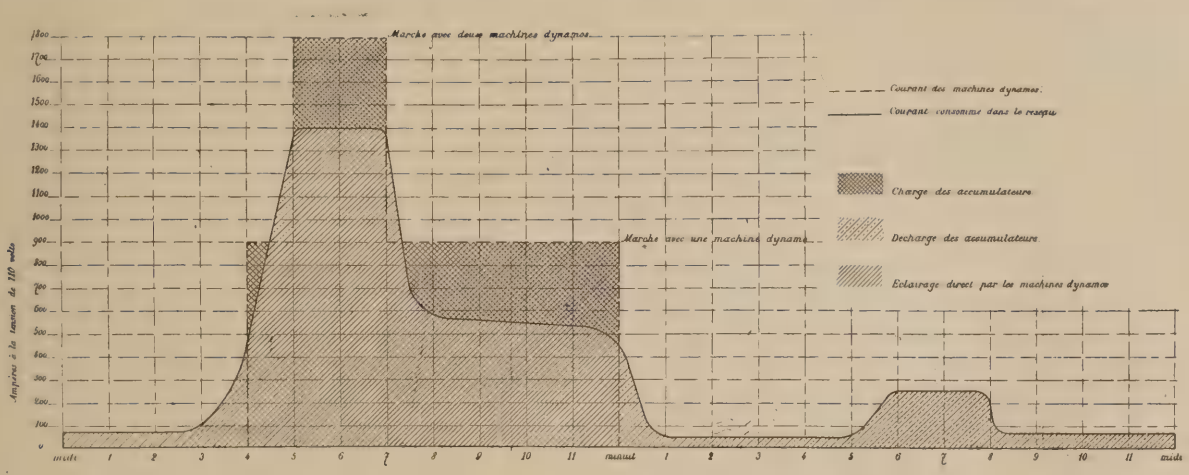


Fig. 5. — Répartition du débit entre les machines et les accumulateurs.

on trouve facilement les trois périodes dont nous venons de parler ; on voit également qu'une machine dynamo a fonctionné seule de 4 heures à 5 heures et de 7 heures à minuit, tandis que les deux machines ont travaillé ensemble de 5 heures à 7 heures.

5. *Réseau des câbles conducteurs.* — Les câbles principaux partent de l'usine pour aboutir en différents points du réseau de distribution, où ils amènent le courant avec une perte de tension qui ne doit pas dépasser 5 volts. Les câbles de distribution s'étendent dans les rues où l'on veut distribuer le courant ; c'est sur eux que sont greffés les câbles de branchement.

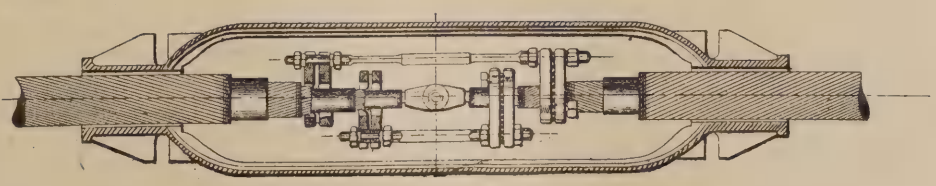


Fig. 6. — Boîte de jonction de deux câbles.

Tous ces câbles sont du système Siemens, à trois conducteurs concentriques, à enveloppe de plomb et gaine formée de bandes d'acier enroulées en double spirale croisée. L'isolant qui sépare les conducteurs est formé de jute enduit d'une composition spéciale.

Les câbles sont simplement posés en terre à une profondeur de 70 centimètres. La figure 6 représente une boîte de jonction simple pour le raccordement de deux câbles. Les extrémités des conducteurs sont mises à nu et serrées entre des pièces de bronze qui établissent la continuité. L'assemblage est enfermé dans une boîte en fonte en deux parties dont le joint, qui est étanche, passe par l'axe du câble. On ferme les extrémités de la boîte hermétiquement en y coulant à chaud une matière isolante qui durcit. La boîte est ensuite remplie d'huile épaisse qui isole entre eux les trois conducteurs et empêche l'accès de toute humidité ; cette huile est intro-

duite par une ouverture ménagée à la partie supérieure de la boîte et fermée par un bouchon à vis.

Le système de distribution à trois fils employé par la station centrale de Mulhouse est établi d'après le schéma 7. L'avantage du système à trois fils sur le système ordinaire ou à deux fils réside de sa plus grande économie. Un exemple en rendra compte.

Considérons d'abord le système à deux fils. Soient :

I l'intensité du courant en ampères,

L la distance à parcourir en mètres,

T la perte de tension consentie en volts,

C le coefficient dépendant de la nature du conducteur.

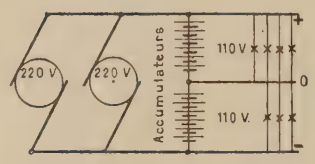


Fig. 7. — Distribution à trois fils de Mulhouse.

Nous aurons pour la section S d'un brin conducteur :

$$S = \frac{I L}{T C},$$

et en désignant par S_2 la section totale des conducteurs :

$$S_2 = 2 S = \frac{2 I L}{T C}. \qquad (1)$$

Voyons maintenant quelles sont les conditions dans le système à trois fils et considérons d'abord les conducteurs extrêmes + et —.

Pour une même quantité d'énergie que précédemment, la tension du courant étant double, l'intensité du courant sera seulement moitié, soit $= \frac{I}{2}$, et la perte consentie en volts sera double, soit $= 2$ T. Les valeurs L et C ne changent pas, et nous aurons pour la section S_1 de l'un des brins extrêmes :

$$S_1 = \frac{\frac{I}{2} L}{2 T C} = \frac{I L}{4 T C};$$

et, nous rappelant que le conducteur o a une section moitié de celle des autres, en désignant par S_3 la section totale des conducteurs, nous aurons pour sa valeur :

$$S_3 = 2{,}5\ S_1 = \frac{2{,}5\ I L}{4 T C}. \qquad (2)$$

En comparant les valeurs (1) et (2), nous avons

$$\frac{S_2}{S_3} = \frac{\frac{2 I L}{T C}}{\frac{2{,}5\ I L}{4 T C}} = \frac{8}{2{,}5}$$

et

$$S_3 = \frac{2{,}5\ S_2}{8} = 0{,}3125\ S_3.$$

C'est donc une économie d'environ 68 o/o sur les conducteurs que représente l'emploi du système à trois fils en regard du système à deux fils.

6. *Appareils de contrôle et de distribution.* — Pour contrôler le fonctionnement et pour établir les connexions nécessaires entre les dynamos, les accumulateurs et le réseau de câbles suivant les exigences du service, les appareils sont groupés sur deux tableaux : un tableau principal de distribution et un tableau des câbles.

Le compteur employé sur le réseau de Mulhouse est du système Aron. L'unité de mesure adoptée et servant de base aux indications du compteur est l'ampère-heure.

Le prix du courant est fixé à 10 centimes l'ampère-heure pour l'éclairage, et à 4 centimes l'ampère-heure pour moteurs. En tenant compte de la tension de régime de 110 volts, ces prix correspondent respectivement à 90 et à 36 centimes le kilowatt-heure.

Les lampes et appareils raccordés au réseau le 15 juillet 1892 se répartissent comme suit :

7765 lampes à incandescence, 84 lampes à arc, 4 moteurs de 1/10 de cheval avec ventilateurs, 13 moteurs d'un cheval, 1 moteur de 8 chevaux, 3 allume-cigares, 1 appareil à chauffer les galvano-cautères, 2 installations pour l'éclairage de voitures au moyen d'accumulateurs transportables. A. H.

Compteur-moteur Wacker-Schuckert (1891).

Les inducteurs *a a* (fig. 1) de ce compteur-moteur sont excités par le courant à mesurer, et l'armature *b* par un courant à potentiel constant, de sorte que son torque est proportionnel à l'in-

tensité du courant à mesurer. Le frein est constitué par un disque de cuivre *d*, tournant entre les pôles d'un électro-aimant *c* avec une résistance proportionnelle à sa vitesse.

Afin d'annuler les perturbations apportées par

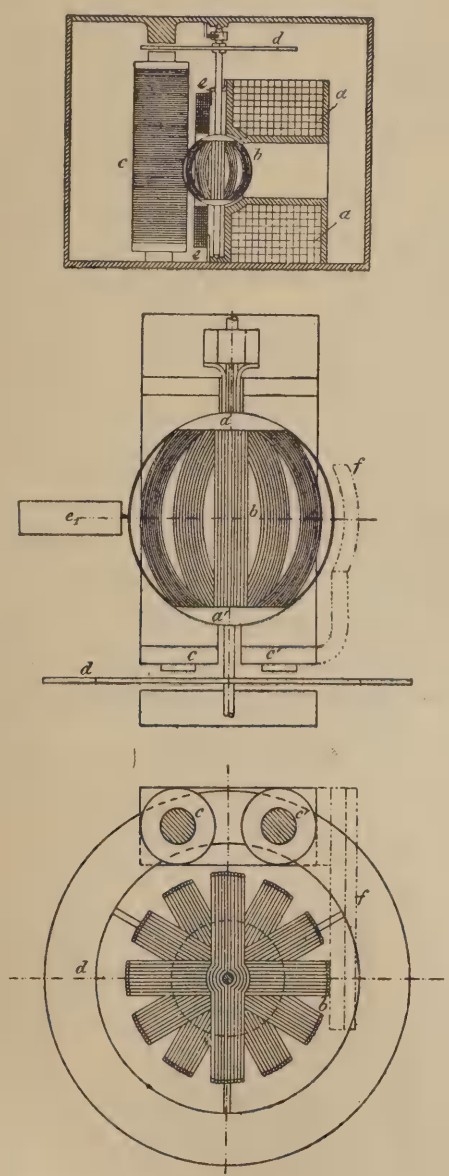


Fig. 1, 2 et 3.

les frottements mécaniques du compteur, on leur ajoute un électro-aimant supplémentaire *e*, qui compense ces résistances sur l'armature *b*, ou (fig. 2) une simple pièce de fer doux e_1, que le voisinage de l'armature magnétise de manière à obtenir ainsi la compensation désirée. Cette pièce peut être (fig. 3) remplacée par le prolongement *f* de l'un des pôles c_1 du frein *c c' d*.

L'armature, du type sphérique sans noyau, avec ses fils croisés sur deux petits disques polaires *a a'*, est aussi légère et compacte que possible. Enfin, on compense les variations dues aux changements de température du disque *f* au

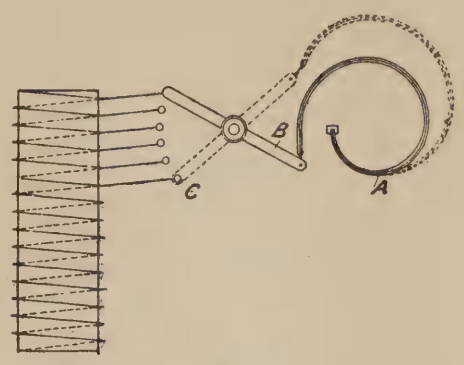


Fig. 4

moyen d'un thermomètre métallique A (fig. 4) qui introduit ou enlève par B C, à l'électro du frein *c*, un nombre d'ampères-tours fonction de cette température.

G. R.

Raffinage électrolytique des métaux Placet et Bonnet (1891).

D'après MM. Placet et Bonnet, on peut obtenir par électrolyse certains métaux tels que le chrome, par exemple, à l'état presque pur, en augmentant la densité des bains par la dissolution de substances inertes afin d'empêcher le dégagement nuisible des gaz au pôle négatif, et en y ajoutant des acides, ou mieux des sels acides, pour empêcher les dépôts d'oxydes au pôle négatif.

C'est ainsi que l'on obtient des cristaux de chrome très beaux en remplaçant le sulfate ordinaire de soude par le bisulfate acide dans les proportions suivantes :

10 à 15	grammes	d'alun de chrome,
10 à 15	—	de bisulfate de soude, de potasse ou d'ammoniaque,
100	—	d'eau.

Mais il faut que le bisulfate soit pur : comme ceux du commerce sont souvent impurs et trop acides, on a avantage à y ajouter un peu de

sulfates neutres, et de composer le bain, par exemple, de :

10 à 15	grammes	d'alun de chrome.
10	—	de bisulfate alcalin.
10	—	de sulfate.
100	—	d'eau.

En général, et pour presque tous les métaux, aluminium, cuivre, cobalt, étain, antimoine, il y a grand avantage à remplacer les sels neutres ordinaires par des sels acides polyatomiques parce qu'ils évitent les tâtonnements nécessaires pour déterminer la proportion exacte d'acide à ajouter aux bains, et parce que leur action est infiniment plus efficace que celle de leur acide ajouté isolément. G. R.

Dynamo à commande directe de la General Electric C°.

L'accouplement direct des dynamos avec les machines motrices est devenue d'un usage assez

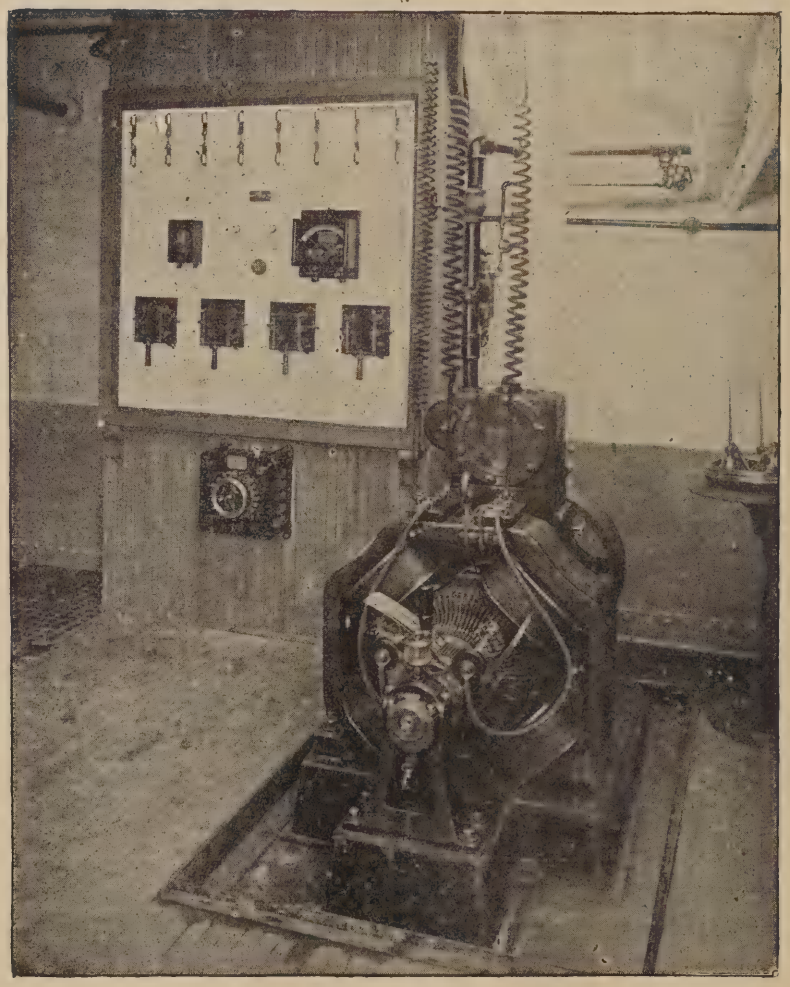


Fig. 1. — Dynamo à vapeur de la General Electric C°.

fréquent en Europe. Aux États-Unis on emploie encore beaucoup les transmissions partout où les conditions le permettent. Mais il est des cas où l'espace est trop restreint pour se prêter à l'installation d'une transmission; il en est surtout ainsi sur les navires, où l'on a maintenant presque toujours recours à la commande directe.

Un exemple nous en est fourni par la récente installation d'une dynamo à vapeur à bord du

vapeur *Pillsbury*, que représente notre figure 2. C'est la General Electric Company, de New-York, formée comme on le sait par la réunion des compagnies Edison et Thomson-Houston, qui a procédé à cette installation.

Il s'agissait de placer une dynamo avec son moteur à vapeur capable d'alimenter les 150 lampes du vapeur. Mais l'emplacement réservé à ces machines était une cabine n'ayant pas plus de 2,50 m. dans les trois dimensions. On dut donc placer dans ce local (fig. 1) une dynamo à commande directe. La machine est de 15 chevaux. La dynamo est du type à quatre pôles, enroulée en compound, et munie d'un régulateur automatique. Le collecteur possède des connexions intérieures pour éviter l'emploi de quatre

Fig. 2. — Steamer Pillsbury.

balais; il n'y a donc que deux balais à 90 degrés l'un par rapport à l'autre. Le moteur et la dynamo sont pourvus de paliers auto-graisseurs.

Derrière la machine on voit le tableau de commutation en marbre blanc. Au-dessous de ce tableau se trouve un rhéostat monté sur un cadre de fer.

La chambre de la dynamo se trouve à l'arrière du bateau, à l'intérieur duquel sont distribuées 150 lampes. Un vapeur de forme analogue à celui que représente notre photographie, le *Washburn*, reçoit une installation électrique du même genre.

A. H.

Tannage électrique, procédé Pinna (1892).

Les peaux, épilées comme à l'ordinaire, sont immergées dans un puits de tannerie, dont le fond est garni d'une électrode de cuivre occupant presque toute la surface de ce fond. Après avoir empilé les peaux sur cette électrode et rempli le puits du liquide de tannage, on le ferme par un flotteur qui porte la seconde électrode, de même surface que la première, solide ou réticulaire. Le courant ne doit pas dépasser, suivant la nature des peaux, 0,04 à 0,10 ampère par décimètre carré d'électrodes, sous une tension qui ne doit pas être supérieure à 5 volts en moyenne; et, en outre, ce courant doit être alter-

natif, avec une fréquence d'au moins 5000 alternances par minute. La température du bain ne doit jamais s'élever au-dessus de 32°.

D'après M. Pinna, l'électricité aurait pour principal effet d'accélérer la pénétration et la diffusion du tannin dans les peaux par une sorte d'action physiologique exercée sur les cellules : action que les courants alternatifs produiraient plus efficacement que les courants continus, et sans risque de déterminer à côté des réactions électrolytiques parasitaires qui affaiblissent le bain tannique. On pourrait, grâce à l'emploi des courants alternatifs tels que le spécifie M. Pinna, se dispenser complètement de l'emploi de cuves tournantes, en opérant, comme nous venons de le voir, dans des puits de tanneries ordinaires.

Néanmoins, M. Pinna conseille, pour l'application rapide de son procédé, l'emploi d'un bac rectangulaire de 2 à 3 mètres de profondeur sur 2 à 2,50 m. de côté, renfermant 30 à 35 peaux suspendues parallèlement aux électrodes, disposées sur deux parois opposées du bac, à 0,10 m. environ des premières peaux, et d'une surface égale au moins à celle des plus grandes peaux. L'emploi d'une liqueur tannique titrée à 15° ou 35° au tannimètre donne, avec un courant de 0,10 ampères par décimètre carré d'électrode donne, d'excellents cuirs. Le tannage dure de 100 à 400 heures, suivant la qualité des peaux.

Canalisation Davis et Crompton (1892).

Dans ce système, les tuyaux ordinaires sont

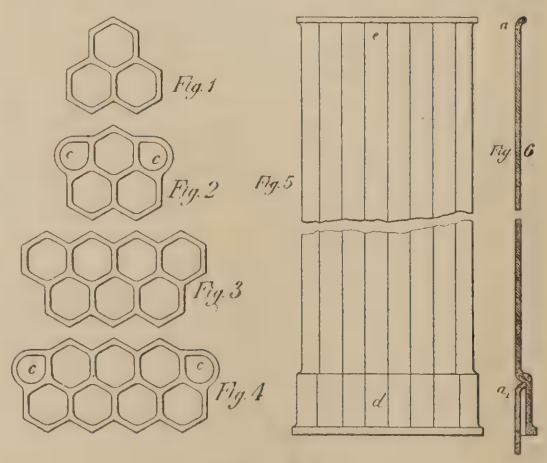


Fig. 1 à 6.

remplacés par des tuyaux cellulaires à canaux hexagonaux *cc* (fig. 1 à 4) et à joints étanches par emboîtement sous plomb $a\,a_1$ (fig. 5 à 6). Ces tuyaux en fonte sont à la fois légers et très résistants.

Caniveaux pour câbles isolés Thornton, Clark et Muirhead (1892).

Ces caniveaux sont disposés pour recevoir sans les froisser aussi bien les câbles garnis de leurs isolants que les câbles non isolés.

Ces câbles sont couchés (fig. 1) dans les rainures $a'a'a'$ du fond du caniveau, et maintenus

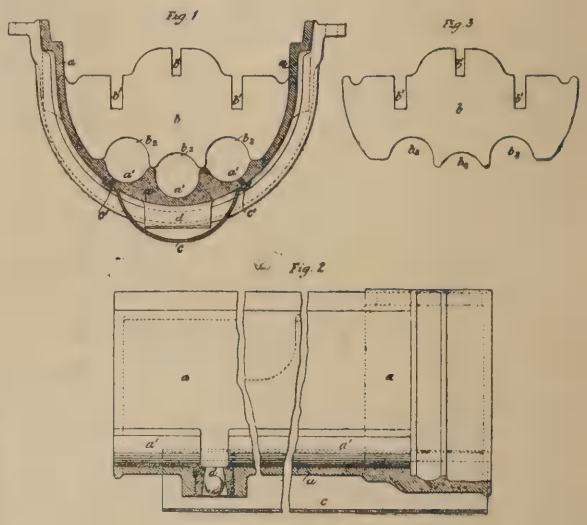


Fig. 1 à 3.

par les gorges correspondantes $b_2\,b_2\,b_2$ des couvercles *b* (fig. 2), qui reçoivent en $b'b'b'$ les câbles non isolés. Le drainage du caniveau s'opère automatiquement par des crépines à boulet *d* (fig. 3) dans le déversoir *c* en tôle fixé au bas du caniveau. G. R.

REVUE DES TRAVAUX

RÉCENTS EN ÉLECTRICITÉ

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du 20 janvier 1893.

M Gouré de Villemontée expose des recherches qu'il a entreprises sur la préparation de plateaux métalliques de même matière entre lesquels n'existe aucune différence de potentiel. Ces plateaux ont été obtenus par électrolyse ; il n'est pas nécessaire de suspendre les plateaux

en face exactement l'un de l'autre; le mode de suspension utilisé dans la galvanoplastie est suffisant.

Un grand nombre d'expériences ont été faites en variant le voltage, l'intensité et la densité du courant.

Voltage	Intensité	Densité (amp.-cm²)	Température
de	de	de	de
Nickel. 6 à 21 v.	0,01 à 6 amp	0,06 à 1,62	20° à 34°
Fer.... 1 à 6 v.	0,05 à 0,2 —	0,01 à 0,19	12° à 21°
Zinc... 4 v.	0,18 —	0,02 à 0,05	11° à 16°
Cuivre. 4 à 40 v.	0,08 à 24 —	0,02 à 13,63	10,76 à 40°

Dans ces conditions si variées, on a toujours obtenu de bons résultats; deux plateaux de même métal, nettoyés aussitôt après leur sortie du bain, ne présentent aucune différence de potentiel appréciable. (La méthode de mesure, qui est celle de M. Pellat, permet d'évaluer une différence de potentiel de 0,005 volt). Ces plateaux se conservent d'ailleurs très bien; M. Gouré de Villemontée présente deux plateaux de nickel gardés depuis cinq ans sans précaution et qui sont encore dans un parfait état de conservation. Il présente encore des grains de plomb recouverts de cuivre par le même procédé; dans ce cas, les grains de plomb étaient placés sur une lame de cuivre de façon à couvrir toute la surface en formant une seule couche; on a calculé la densité du courant en prenant la surface de la lame plane inférieure.

M. Defforges expose de très intéressantes recherches sur l'intensité de la pesanteur; les dernières séries d'expériences avaient laissé subsister des écarts de 120 μ entre les longueurs déterminées pour le pendule simple battant la seconde. La cause de ces divergences est due au *glissement* des couteaux sur le support; qui influe sur les résultats vingt fois plus que *l'entraînement* des supports dont on avait tenu compte précédemment. La nature trop particulière de ces recherches ne nous permet pas, à notre grand regret, d'en donner un compte-rendu plus étendu. Nous citerons seulement le nombre, vraisemblablement définitif, qu'a obtenu M. Defforges pour l'intensité de la pesanteur à Paris, (au rez-de-chaussée de l'Observatoire) :

9,809998 m.

moyenne de deux nombres qui ne diffèrent que de 4 unités pris de l'ordre du dernier chiffre.

C. R.

Transformateurs à circuits magnétiques ouverts et fermés, par W.-E. Ayrton et W.-E. Sumpner (1).

Dans un mémoire récemment publié (2), nous avons décrit un certain nombre d'essais effectués dans le but de déterminer les pertes dans les transformateurs du type à circuit fermé. Ces essais se rapportaient à quatre transformateurs Mordey de 1,5 à 4,5 kilowatts, mais on avait aussi examiné un transformateur « hegdehog » de 4 kilowatts, et l'on avait trouvé que les pertes à pleine charge et à charge nulle y étaient pratiquement les mêmes que dans le transformateur Mordey.

Ces expériences ont été reprises en employant

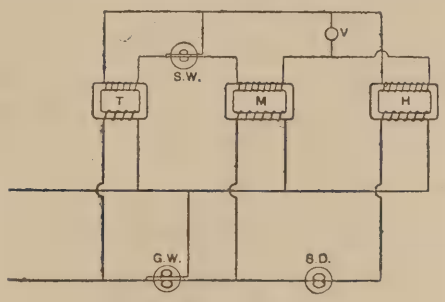


Fig. 1

la même méthode légèrement modifiée. Comme nous l'avons indiqué dans notre mémoire, quelques-uns des résultats obtenus précédemment avec le transformateur Swinburne étaient dus à son courant d'excitation considérable, qui ne permet pas de mesurer la charge du transformateur par le courant indiqué à l'électrodynamomètre. Il y avait aussi quelques corrections à introduire, parce que les transformateurs avaient fonctionné à des voltages différents.

La disposition des appareils employés dans les nouveaux essais est représentée par la figure 1. Les bobines à gros fil d'un transformateur Mordey de 3 kilowatts, M, et d'un transformateur hedgehog de 4 kilowatts, H, furent placées en parallèle sur les câbles à basse tension, un électrodynamomètre Siemens S D étant mis en circuit, de façon à mesurer le courant traversant

(1) *The Electrician*, 25 novembre 1892.
(2) *La Lumière Electrique*, t. XLVI, p. 85.

les bobines de H. Un wattmètre Ganz G W mesurait la puissance fournie à M et H. Un troisième transformateur T avait son primaire en dérivation sur les câbles, et son secondaire en série avec les bobines à fil fin de M et de H, celles-ci étant reliées entre elles de façon à s'opposer leurs tensions. Un wattmètre Swinburne S W mesurait la puissance fournie par le secondaire de T, et un voltmètre électrostatique Ayrton et Mather, V, servait à prendre le voltage du fil fin, soit de M, soit de H.

Dans toutes les expériences, le secondaire de H était réglé à 2000 volts, et le transformateur T était arrangé de façon que H transformât de haut en bas. Pour quelques essais, un électrodynamomètre à reflexion mesurant jusqu'à deux ampères était placé dans le circuit à haute tension, et rendait inutile le dynamomètre S D. La somme des indications des deux wattmètres mesurait la puissance totale perdue dans M et H, et, comme les pertes dans M étaient connues pour toutes les fréquences, d'après les expériences antérieures, on pouvait en déduire les pertes dans H.

Dans les mesures des courants alternatifs, il est nécessaire de s'assurer que les courants dans les conducteurs n'ont pas d'action sur les lectures aux dynamomètres et aux wattmètres employés. Le seul moyen efficace consiste à tordre ensemble les deux fils qui conduisent à chaque instrument. De plus, il est particulièrement important dans l'essai des transformateurs à circuit magnétique ouvert, de prendre bien soin que le champ alternatif dispersé n'agisse pas directement sur les appareils de mesure. Pour nous mettre à l'abri de cette cause d'erreur, nous avons trouvé nécessaire d'éloigner les instruments de quelques mètres du transformateur hedgehog.

Le tableau I est un exemple des essais faits à une fréquence de 100 périodes par seconde, avec l'électrodynamomètre dans le circuit en fil fin.

TABLEAU I

Volts dans le transformateur hedgehog	2000	2000	2000	2000
— — Mordey	2000	1960	1950	1880
Ampères dans le fil fin	0	1,32	1,53	1,84
Somme des watts indiqués par les deux wattmètres	275	339,5	362,5	391,5
Watts perdus dans les bobines du transformateur Mordey	0	40	54	78
— le fer — —	106,5	105,5	105	96
Watts perdus dans le cuivre et le fer du transformateur hedgehog	168,5	194,5	203,5	217,5
Watts perdus dans le cuivre du transformateur hedgehog.	0	28,2	39,5	55,0
— le fer — —	168,5	166,3	164	159,5

Les nombres indiqués pour la perte dans le cuivre ne comprennent pas la partie constante de cette perte, c'est-à-dire celle due aux courants d'excitation ; cette partie est reportée dans les nombres relatifs à la perte dans le fer. Les watts perdus dans le fer du transformateur Mordey diminuent comme la charge augmente parce que la tension de fonctionnement diminue à mesure que le courant augmente, comme on le voit dans la deuxième ligne du tableau.

TABLEAU II

Volts sur le transformateur hedgehog	2000	2000	2000	2000	2000	2008
— — Mordey	2000	1820	1775	1695	1645	1600
Ampère dans le circuit gros fil	0	19,2	20,35	24,10	25,6	28,1
Somme de watts	192	234	228,2	241	256	270
Perte totale dans le cuivre, en watts,	0	41,3	46,5	65	73,5	88,5
le fer —	192	192,7	181,7	176	182,5	181,5
Watts perdus dans le fer du transformateur Mordey.	80	73	71	68	66	64
— — hedgehog,	112	119,7	110,7	108	106,5	107,5

Peu avant ces essais, on avait vérifié le wattmètre Ganz. On avait pris séparément les pertes à circuit ouvert de M et de H, et l'on avait obtenu 105 et 163 watts. La somme des deux pertes avait été alors mesurée séparément; elle était de 271, ce qui est assez près de 268, somme de 105 et 163,

pour montrer que la nature inductive de la charge n'introduisait pas d'erreur appréciable dans les indications du wattmètre. Les pertes dans les bobines du transformateur hedgehog, mesurées avec courant alternatif et courant continu, étaient de 65 watts à 40 ampères.

Les expériences ont été répétées pour diverses fréquences. Le tableau II donne une série obtenue à 200 périodes par seconde.

On a aussi déterminé séparément les pertes à circuit ouvert à diverses fréquences, et les moyennes d'un grand nombre de mesures sont les suivantes pour le transformateur hedgehog :

160 watts	à une	fréquence	de	100	périodes :	sec.
131	—	—	—	150	—	—
110	—	—	—	200	—	—

et ces nombres, exprimés en fractions de la pleine charge de 4000 watts, donnent 4 o/o, 3,27 o/o et 2,92 o/o, tandis que, comme nous l'avons fait remarquer antérieurement, les pertes correspondantes dans un transformateur Mordey sont de 3,2 o/o, 2,8 o/o et 2,36 o/o à des fréquences de 100, 120 et 160 périodes par seconde, et, naturellement, encore moindres à la fréquence de 200.

D'après ces résultats, nous obtenons comme rendements du transformateur hedgehog pleine charge (4000 watts), 94,38 o/o, 95,10 o/o et 95,45 o/o, aux fréquences de 100, 150 et 250 périodes par seconde.

A. H.

Sur les réseaux de conducteurs électriques. Propriété réciproque de deux branches, par M. Vaschy.

Le théorème dont on fait usage dans la théorie du pont de Wheatstone et qui est le suivant :

« Etant donné un réseau de conducteurs électriques, si une force électromotrice E, placée dans une branche A de ce réseau, produit dans une autre branche B un courant d'intensité i, réciproquement, la même force électromotrice E, placée dans la branche B produit dans la branche A un courant de même intensité i » est démontré dans la plupart des traités [1]. En considérant le cas du régime permanent, et M. Vaschy en a donné une démonstration dans le cas plus général du régime variable dans son *Traité d'Électricité et de Magnétisme* [2].

[1] MAXWELL, § 281.
[2] VASCHY. *Electricité et Magnétisme*, § 202.

M. Vaschy vient d'énoncer et d'établir un théorème très important et beaucoup plus général s'appliquant à un nombre quelconque de réseaux sans communications métalliques et exerçant entre eux des effets réciproques d'induction. Il est le suivant :

Considérons un ou plusieurs réseaux de conducteurs, pouvant même contenir des condensateurs intercalés sur diverses branches. Si une force électromotrice $E = f(t)$, placée dans une branche produit une intensité $i = \varphi(t)$ dans une branche B, non nécessairement dans le même réseau que A, réciproquement la même force électromotrice $E = f(t)$ placée dans B produira dans la branche A un courant $i = \varphi(t)$.

Supposons d'abord le régime permanent.

Pour le démontrer, dans le cas où il n'y a pas de condensateurs, il suffit d'appliquer aux n circuits fermés convenablement choisis d'un réseau le lemme de Kirchoff

$$\Sigma E = \Sigma R i.$$

Si on regarde en effet la distribution du courant dans les diverses branches comme résultant de la superposition des n courants d'intensités $i_1, i_2, \ldots i_n$ parcourant les n circuits 1, 2, 3, ... n le théorème de Kirchoff appliqué au circuit h donnera

$$R_{h1} i_1 + R_{h2} i_2 + \ldots + R_{hk} i_k + \ldots + R_{hn} i_n = E_h.$$

E_h étant la somme des forces électromotrices existant dans ce circuit h, R_{hh} la résistance totale du circuit et R_{hk} la résistance des parties communes aux circuits h et k (s'il y a lieu).

Si le régime du courant est variable, la même équation est encore exacte si l'on fait rentrer dans E_h les forces électromotrices de self-induction $M_{hh} \frac{di_h}{dt}$ et d'induction mutuelle $M_{hk} \frac{di_h}{dt}$. En les mettant en évidence, on a

$$R_{h1} i_1 + M_{h1} \frac{di_1}{dt} + \ldots + R_{hh} i_h + M_{hh} \frac{di_h}{dt} + \ldots = E_h$$

ou en l'écrivant symboliquement

$$\rho_{h1} + \ldots + \rho_{hh} i_h + \ldots = E_h$$

en posant

$$\rho_{hk} = R_{hk} + M_{hk} \frac{d}{dt}.$$

Pour obtenir les valeurs de $i_1, i_2 \ldots i_n$, il suffit d'appliquer cette équation aux n circuits succes-

sifs, ce qui donne le système d'équations différentielles :

$$\left\{\begin{array}{l} \Sigma\, \rho_{1k}\, i_k = E_1 \\ \cdots\cdots\cdots \\ \cdots\cdots\cdots \\ \Sigma\, \rho_{nk}\, i_k = E_n \end{array}\right. \qquad (1)$$

avec les conditions initiales

$$i_1 = i_2 = \ldots i_n = 0 \quad \text{pour } t = 0.$$

Si, au lieu d'un seul réseau, on en a plusieurs distincts, on appliquera le même lemme n' circuits du premier réseau, n'' au deuxième, etc., et si l'on pose $n = n' + n'' + \ldots$, les conditions auxquelles on arrivera seront de la même forme que (1) de l'égalité de ρ_{hk} et ρ_{kh} en conclut que le déterminant symbolique des courants

$$\Delta = \begin{vmatrix} \rho_{11} \cdots\cdots \rho_{1n} \\ \rho_{21} \cdots\cdots \rho_{2n} \\ \\ \rho_{n1} \cdots\cdots \rho_{nn} \end{vmatrix}$$

est symétrique et par suite ses mineurs sont égaux.

Ceci posé, on peut toujours choisir les n circuits de façon que A appartiennent seulement au circuit 1, et B seulement à 2.

On a alors dans le premier cas

$$E_1 = E \quad E_2 = \ldots = E_n = 0.$$

On vérifie facilement que l'intégrale du système (1) en tenant compte des conditions initiales est :

$$i = \Delta_{11}\, u, \quad i_2 = \Delta_{12}\, u, \ \ldots\ i_n = \Delta_{1n}\, u,$$

u étant une fonction définie par l'équation différentielle d'ordre n

$$\Delta u = E$$

et par les conditions initiales

$$u = \frac{du}{dt} = \ldots = \frac{d^{n-1} u}{dt_n^{-1}} = 0 \quad \text{pour } t = 0.$$

Puis, dans le second cas

$$E_2 = 0 \qquad E_1 = E_3 = \ldots = E_n = 0$$

et la solution est alors

$$i_1 = \Delta_{21}\, u, \quad i_2 = \Delta_{22}\, u, \ \ldots\ i_n = \Delta_{2n}\, u.$$

On reconnaît donc bien que le courant i_2 du premier cas est égal au courant i_1 du second, à cause de l'égalité des mineurs du déterminant symbolique Δ.

Erreurs d'observation dans la méthode des trois voltmètres, par A. Russel [1].

Dans la disposition habituelle appelons V, V_1, V_2, W et A les vraies valeurs des volts, watts et ampères dans les divers circuits. Quelle que soit la loi de la force électromotrice, nous avons

$$2\, V_2 \frac{W}{A} = V^2 - V_1^2 - V_2^2, \qquad (1)$$

où V_1 est la différence de potentiel aux bornes de la résistance inductive. Nous allons discuter l'erreur introduite dans la valeur calculée de la puissance W par des erreurs d'observation dans la lecture des indications des voltmètres. L'erreur introduite dans W par la lecture sur l'ampèremètre est évidemment proportionnelle à l'erreur commise dans cette lecture.

Supposons que les indications observées des voltmètres soient $V + x\,V$, $V_1 + y\,V_1$, $V_2 + z\,V_2$, où x, y et z peuvent avoir des valeurs quelconques comprises entre $\pm a$, $\pm b$, $\pm z$ respectivement. Soit W' la valeur calculée de la puissance en watts ; alors

$$\begin{aligned} 2\,(V_2 + z\,V_2)\frac{W'}{A} &= V^2\,(1+x)^2 - V_1^2\,(1+y)^2 - V_2^2(1+z)^2 \quad (2) \\ &= 2\,V_2\frac{W}{A} + (2\,x + x^2)\left(V_1^2 + V_2^2 + 2\,V_2\frac{W}{A}\right) \\ &\quad - (2\,y + y^2)\,V_1^2 - (2\,z + z^2)\,V_2^2. \end{aligned}$$

D'après l'équation (1)

$$\begin{aligned} (1+z)\frac{W'}{W} = 1 + 2\,x + x^2 + \frac{A}{2\,V_2\,W}\Big\{ & V_1^2(2x - 2y + x^2 - y^2) \\ & + V_2^2\,(2\,x - 2\,z + x^2 - z^2)\Big\}; \end{aligned}$$

donc

$$\begin{aligned} \frac{W'}{W} = 1 + 2\,x - z + x^2 + z^2 + \frac{A}{2\,V_2\,W}\Big\{ & V_1^2(2x - 2y + x^2 - y^2) \\ & + V_2^2\,(2\,x - 2\,z + x^2 + z^2)\Big\} + \text{les termes multi-} \\ & \text{pliés par } x\,y,\ x\,z, \text{ etc.} \qquad (3) \end{aligned}$$

$$\frac{W'}{W} = 1 + 2\,x - z + \frac{A}{V_2\,W}\Big\{ V_1^2\,(x - y) + V_2^2\,(x - z)\Big\} \quad (4)$$

en négligeant les termes multipliés par de faibles quantités du second ordre. Or, dans la mesure, V et A sont fixes, et il faut trouver la valeur de V_2 pour laquelle $\frac{W' - W}{W}$ est minimum. Cette valeur dépend de x, y et z, et peut être tirée de

[1] *The Electrician*, 30 décembre 1892.

l'équation (4). L'erreur la plus importante à considérer est l'erreur maxima possible due aux erreurs d'observations. On obtient cette erreur en posant $x = a$, $y = -b$ et $z = -c$.

Il vient alors

$$\frac{W' - W}{W} = 2a + c + \frac{A}{V_2 W}\left\{V_1^2 (a+b) + V_2^2 (a+c)\right\}$$

$$= 2a + c + \frac{A}{V_2 W}(V_1\sqrt{a+b} - V_2\sqrt{a+c})^2 + \frac{2AV_1}{W}\sqrt{(a+b)(a+c)}.$$

La valeur de V_2 qui rend cette expression la plus petite possible est évidemment

$$V_1\sqrt{\frac{a+b}{a+c}}. \qquad (5)$$

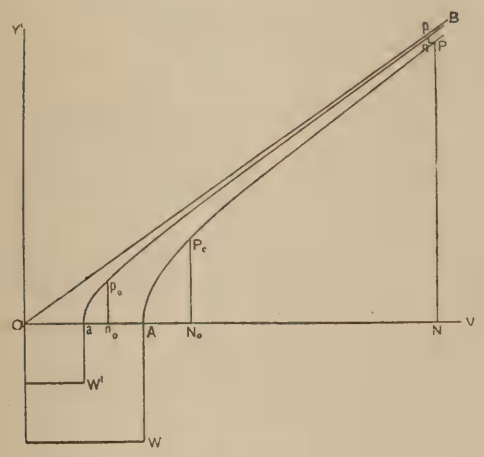


Fig. 1

Dans ce cas

$$\frac{W' - W}{W} = 2a + c + 2\frac{A V_1}{W}\sqrt{(a+b)(a+c)}. \qquad (6)$$

Par exemple, supposons que nous mesurions la puissance consommée dans un circuit pour lequel $\frac{W}{A V_1}$, le facteur de charge, soit faible, égal, par exemple à 0,1, et que nous nous servions de trois voltmètres semblables qui permettent des lectures à $\pm$ 0,1 o/o près. L'erreur maxima faite sur W sera alors de 4,3 o/o, lorsque V_2 est égal à V_1. Quand les voltmètres ne sont pas exactement du même type, a, b et c ne sont pas égaux entre eux, et nous voyons d'après (5) et (6) que la meilleure disposition consiste alors à se servir du voltmètre le plus précis pour mesurer V, et du moins précis pour la mesure de V_1, et de rendre V_2 plus grand que V_1.

De l'équation (3) nous déduisons que la valeur moyenne de $\frac{W'}{W}$ est

$$1 + \frac{1}{3}(a^2 + c^2) + \frac{A}{6 V_2 W}\left\{V_1^2 (a^2 - b^2) + V_2^2 (a^2 + c^2)\right\}.$$

Comme cette moyenne devrait être déduite d'un grand nombre d'observations et que dans la pratique nous n'effectuons qu'un petit nombre d'observations, il est préférable de donner à V_2 une valeur qui rende minima l'erreur commise sur la moyenne d'un grand nombre d'observations. Les formules (5) et (6) peuvent donc être employées dans la pratique.

Il est intéressant de considérer le problème

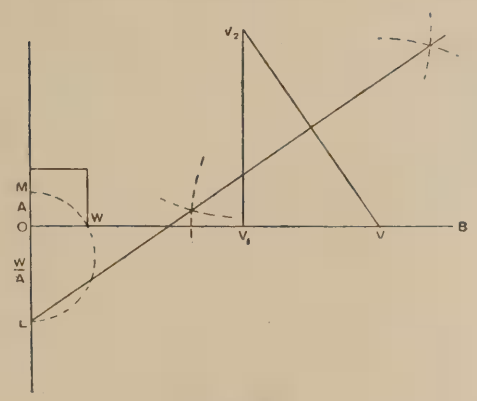


Fig. 2

graphiquement. Soit $V_2 = V_1 = V'$; la formule fondamentale devient alors

$$V^2 - 2V'^2 = 2rW,$$

r étant la résistance non inductive.

Considérons V et V' comme variables et rW comme constant, et marquons les points P qui satisfont à cette relation ; nous obtenons la courbe $A P_0 P$ (fig. 1). Cette courbe peut être obtenue en coupant, par un plan parallèle à son axe, un cône ayant O V pour axe et O B pour génératrice. Dans la figure, $OA^2 = 2rW$ et l'angle B O V est un peu supérieur à 35 degrés. Or, d'après la disposition des voltmètres, la plus petite valeur de V' est 1/2 V ; donc tous les points se trouvent sur la courbe plus haut que le point P_0, où $O N_0$ est égal à 1,414 O A.

Nous pouvons tracer un grand nombre de ces courbes correspondant à différentes valeurs de W. La figure contient deux de ces courbes, l'une correspondant à W, l'autre à 1/4 W. Nous voyons que plus P est éloigné de l'origine, plus

il y a de probabilités que de petites erreurs sur les valeurs de V et de V′ déplacent P vers la courbe fausse. Nous déduisons, comme précédemment, que $\frac{V'^2}{r\,W}$, ou $\frac{A\,V_2}{W}$, devrait être aussi petit que possible pour que la méthode donne de bons résultats.

La méthode graphique suivante pour calculer W montre la difficulté qu'il y a à obtenir W exactement par la formule. Soient O B et O L (fig. 2) deux droites à angle droit. Portons $O\,V = V$ et $O\,V_1 = V_1$. Élevons en V_1 la perpendiculaire $V_1\,V_2$ égale à V_2. Joignons $V_2\,V_1$ et élevons en son milieu la normale rencontrant O L en L. O L est alors égal à $\frac{W}{A}$. Pour obtenir W, faisons $O\,M = A$. Sur L M comme diamètre décrivons un cercle coupant O B en W. Le carré sur O W mesure alors les watts. Nous voyons par cette construction comment des erreurs dans la mesure de V, V_1 ou V_2 abaissent ou élèvent L, et augmentent ou diminuent ainsi la vraie valeur de la puissance.

A. H.

Sur la simultanéité des variations magnétiques en des lieux différents et sur une relation entre ces variations et celles des courants terrestres, par M. W. Ellis (1).

Bien que depuis une dizaine d'années les appareils enregistreurs se soient considérablement répandus dans les observatoires magnétiques et que le nombre de ces observatoires se soit beaucoup accru, on n'a pu encore trouver de relations certaines entre les variations du champ magnétique terrestre et les phénomènes météorologiques ou astronomiques.

La principale difficulté des recherches résulte de la fréquence des perturbations magnétiques et de la complexité des courbes données par les appareils. En comparant les courbes obtenues à l'observatoire de Greenwich, M. Ellis a remarqué qu'un certain nombre de perturbations, succédant à une période de calme magnétique à peu près complet, débutaient par une variation *soudaine* et *simultanée* des éléments magnétiques (déclinaison, composante horizontale, composante verticale de la force magnétique terrestre). Une recherche scrupuleuse des perturbations présentant au plus haut degré ce caractère, lui a permis d'en découvrir dix-sept depuis l'année 1882 jusqu'à l'année 1889, et pour chacune d'elles il a déterminé avec soin, d'après les tracés des appareils, l'instant où s'était produite la variation brusque et simultanée des trois éléments.

Ses fonctions de surintendant du département magnétique et météorologique lui facilitant les recherches dans plusieurs observatoires, M. Ellis s'est adressé aux observatoires de Melbourne, Zi-ka-wey, Batavia, Bombay, Maurice, Pawlowsk, Toronto, afin de savoir si, en ces différents lieux, des perturbations présentant le caractère précité s'étaient produites aux mêmes époques. Les rapports et les courbes qu'il a pu recueillir ainsi lui ont montré que la variation soudaine des éléments magnétiques s'était manifestée en ces divers lieux et que les instants où elle s'était produite, exprimés en temps de Greenwich, étaient peu différents.

Les deux premières colonnes du tableau ci-dessous indiquent les coordonnées géographiques des observatoires cités précédemment. Les nombres de la troisième colonne ont été obtenus de la manière suivante : les instants des commencements des perturbations étant ramenés à l'heure de Greenwich, on en a fait la moyenne pour chaque perturbation, ce qui donne l'instant moyen du commencement de celle-ci; ensuite, on a calculé pour chaque lieu l'écart entre l'instant moyen du commencement d'une perturbation et l'instant observé, et c'est la moyenne de ces écarts que l'on a inscrite. Dans la quatrième colonne est inscrite la différence algébrique entre le plus grand écart positif et le plus grand écart négatif.

Stations	Latitudes	Longitudes h. m.	Moyennes m.	Différences m.
Toronto....	43°40′ N	5 17,6 O	— 1.5	3,3
Cap Horn...	55 31 S	4 32,3 O	— 0.7	20,0
Greenwich.	51 29 N	0 00,0	— 0.1	3,9
Pawlowsk..	59 41 N	2 01,9 E	— 0.2	5,7
Maurice....	20 06 S	3 50,2 »	+ 0.5	4,4
Bombay....	18 54 N	4 51,3 »	— 0.1	3,8
Batavia....	6 11 S	7 07,3 »	+ 2.4	5,3
Zi-ka-wei...	31 12 N	8 05,7 »	— 2.9	5,6
Melbourne.	37 50 S	9 39,9 »	— 1.8	12,0

Dans ce tableau se trouve la station du Cap Horn. M. Ellis a pu, en effet, trouver dans le rapport de la mission envoyée en cet endroit en 1882-1883, pour l'observation du passage de

(1) *Proceedings of the Royal Society*, t. LII, p. 191-213.

Vénus sur le disque solaire, les observations magnétiques correspondant à cinq des dix-sept perturbations particulièrement étudiées.

On voit par les résultats inscrits dans la troisième colonne que la moyenne des écarts sur l'instant moyen du commencement de chaque perturbation est très petite. Les nombres inscrits dans la dernière colonne sont également petits, à l'exception toutefois de ceux qui sont relatifs au Cap Horn et à Melbourne; mais il convient de remarquer que dans ces stations les observations des variations magnétiques ne se faisaient que de cinq en cinq minutes, les appareils enregistreurs continus faisant défaut.

Pour les sept autres observatoires, le commencement des perturbations est déterminé à une minute près au moyen des courbes des appareils enregistreurs; les décimales que l'on trouve dans le tableau proviennent de la réduction du temps local de chaque station au temps de Greenwich. Si l'on tient compte de ce que, les tracés étant nécessairement à une échelle très réduite, une minute correspond à une longueur d'environ 2/10 de millimètre, et que d'autre part la longitude de quelques-unes des stations par rapport à Greenwich n'est connue qu'approximativement, on conviendra que les écarts de la troisième colonne sont de l'ordre des erreurs probables. D'ailleurs, si l'on classe les stations par ordre de longitude ou par ordre de latitude, on ne constate aucune relation entre ces écarts et la longitude où la latitude. Il est donc permis de conclure avec M. Ellis que *les dix-sept perturbations étudiées se sont produites simultanément aux neuf stations du tableau* et probablement *sur la surface entière du globe.*

Y a-t-il une relation entre ces perturbations magnétiques et les courants terrestres? Les variations de ces courants étant enregistrées à l'observatoire de Greenwich, il peut sembler qu'il est facile de trancher la question. En réalité le problème n'est pas aussi simple, et quoiqu'il ait été étudié depuis longtemps, les résultats trouvés sont contradictoires. Ainsi, à Greenwich même, deux lignes télégraphiques isolées ont été établies dès 1865 pour cette étude, et sir George Airy concluait, des observations faites sur ces lignes de 1865 à 1867, qu'il est impossible de considérer les variations magnétiques comme dues aux variations des courants terrestres, tandis que d'autres savants affirmaient le contraire. Mais l'absence à cette époque d'appareils enregistreurs photographiques ne permettait pas de reconnaître d'une façon certaine si les variations des courants précédaient les variations magnétiques, ou les suivaient, ou si ces deux espèces de variations étaient simultanées. La question restait donc entière quand M. Ellis l'aborda.

Celui-ci constata que les dix-sept perturbations magnétiques étudiées, et en général les perturbations présentant le même caractère de soudaineté, étaient toujours accompagnées de perturbations de courants présentant le même caractère. Ces deux sortes de perturbations commençaient-elles en même temps? C'est qu'il était difficile de mesurer avec une très grande précision les échelles des tracés des appareils enregistreurs n'ayant pas été choisies pour permettre une rigoureuse mesure du temps. Toutefois, M. Ellis a constaté que la différence entre les instants où commencent les variations des deux phénomènes n'était jamais supérieure à l'erreur probable et que la moyenne de ces écarts pour 31 perturbations n'était que 0,14 minute, le signe indiquant que les variations du courant précèdent celles des éléments magnétiques. De plus, les renseignements transmis par les observatoires cités précédemment montrent que, partout où les variations des courants terrestres sont observées, des perturbations de courant se sont produites en même temps que les perturbations magnétiques et présentaient le même caractère. Nous arrivons donc à cette conclusion que *les perturbations de courant et les perturbations magnétiques caractérisées par une variation soudaine se produisent simultanément en des points très éloignés,* et probablement *en tout point de la surface terrestre.*

Les perturbations des courants terrestres paraissent donc être les causes des perturbations magnétiques; mais quelle est la cause dont les perturbations de courants sont les effets. A cette question, on ne peut guère répondre que par des hypothèses. M. Ellis pense que la chaleur solaire est la principale cause, en se fondant sur ce fait que les perturbations débutant par une variation soudaine sont plus nombreuses à certaines époques de l'année, l'été et l'automne de nos régions.

Mais cette hypothèse de l'influence primordiale de la chaleur solaire conduit à penser que

les variations magnétiques diurnes, qui dépendent nécessairement de la chaleur solaire par suite de leur périodicité, doivent être accompagnées de variations diurnes des courants terrestres. Or, les courbes des appareils enregistrant ces variations montrent que les courants terrestres varient continuellement dans un sens et dans l'autre, qu'ils sont faiblement intermittents, mais ne présentent pas de variations diurnes. A ce raisonnement, M. Ellis répond en faisant observer que les variations magnétiques diurnes et les perturbations magnétiques étudiées sont complètement différentes; les premières font croître et décroître régulièrement les éléments magnétiques et se propagent successivement aux divers points du globe; les secondes produisent des mouvements irréguliers des appareils et se manifestent simultanément en tout point du globe. Rien d'étonnant dès lors à ce que les unes ne soient pas accompagnées de perturbations dans les courants terrestres et que les autres en soient accompagnées. D'ailleurs, les variations séculaires de la déclinaison ne paraissent pas être en relation avec les courants terrestres, car la direction de ceux-ci ne semble pas avoir changé à Greenwich depuis une trentaine d'années, tandis que la déclinaison a varié. Enfin, bien que les perturbations des courants terrestres soient très probablement les causes principales des perturbations magnétiques débutant par une variation brusque et expliquent les variations de la déclinaison et de la composante horizontale de la force magnétique, elles n'expliquent pas aussi bien les variations de la composante verticale.

Les causes des variations magnétiques restent donc obscures. Deux points seulement parais. définitivement acquis : ceux que nous avons écrits en italiques. Et d'après l'opinion de M. Ellis lui-même, de nouvelles recherches sent encore nécessaires.

J. B.

Unités électriques du Board of Trade.

La Commission anglaise pour la fixation d'unités électriques a pris les résolutions suivantes.

1. Il est désirable d'adopter de nouvelles dénominations pour les unités de mesure électriques et de les faire sanctionner comme unités du Board of Trade.

La grandeur de ces unités sera basée sur le système électromagnétique C. G. S., le centimètre et le gramme étant représentés par les étalons déposés au Board of Trade.

3. L'unité de résistance électrique est l'ohm et a pour valeur 100 000 000, exprimée en centimètres et secondes.

4. La résistance opposée à un courant par une colonne de mercure, de 14,4521 gramme-masse, de section uniforme, et de 106,3 cm. de longueur, peut être prise pour mesure de l'ohm.

5. L'ohm normal sera un étalon construit en métal solide, et que l'on vérifiera de temps à autre en le comparant avec une colonne de mercure de dimensions connues.

6. Afin de pouvoir remplacer l'ohm normal au cas où il viendrait à être endommagé ou détruit, on en construira un certain nombre de copies que l'on soumettra à des vérifications fréquentes.

7. Les subdivisions ou les multiples de l'ohm seront des résistances en métal solide.

8. La valeur de l'étalon de résistance établi en 1864 par une commission de l'Association britannique pour l'avancement des Sciences peut être considéré comme équivalent à 0,9866 ohm.

9. L'unité d'intensité du courant électrique est l'ampère ; sa valeur est de 0,1 unité C. G. S.

10. Un courant constant précipitant 0,001 118 gramme d'argent par seconde en traversant une solution aqueuse de nitrate d'argent préparée selon les règles données dans le rapport de la commission, peut être considéré comme ayant la valeur d'un ampère.

11. Un courant alternatif de 1 ampère est un courant tel que la racine carrée de la moyenne des carrés de ses intensités à chaque instant est, exprimée en ampères, égale à l'unité.

12. Pour mesurer les intensités des courants continus et des courants alternatifs, le Board of Trade emploiera les instruments construits sur le principe de la balance et permettant de compenser les attractions ou les répulsions entre courants par des poids connus.

13. L'unité de tension électrique est le volt : c'est la tension qui, appliquée à un conducteur de l'ohm, y produit un courant de l'ampère d'intensité.

14. La tension électrique entre les électrodes de la pile connue sous le nom d'élément Clark, diffère à 15° C au plus de 1/1000 de 1,434 volt.

15. Une tension alternative de 1 volt est une

tension telle que la racine carrée de la moyenne des carrés de ses valeurs à chaque instant est, exprimée en volts, égale à un.

16. Pour la mesure de la tension, qu'il s'agisse de courants alternatifs ou de courants continus, le Board of Trade se servira d'instruments construits d'après le principe de l'électromètre idiostatique de Sir William Thomson ou d'après le principe de la balance.

SPÉCIFICATIONS RELATIVES AU VOLTAMÈTRE A ARGENT

Le voltamètre à argent permet de mesurer la quantité totale d'électricité ayant traversé un circuit pendant un temps donné, et en notant ce temps on peut obtenir la mesure de l'intensité de courant moyenne.

Dans l'emploi du voltamètre à argent pour la mesure de courants d'environ un ampère, les dispositions suivantes devraient être adoptées. La cathode qui doit recevoir le dépôt d'argent doit être une capsule de platine d'au moins 10 centimètres de diamètre et 4 à 5 centimètres de profondeur. L'anode doit être une plaque d'argent pur d'environ 30 centimètres carrés de surface et de 2 à 3 millimètres d'épaisseur. Celle-ci est supportée horizontalement dans le liquide près du niveau de la solution par un fil de platine traversant des trous pratiqués dans les coins opposés de la plaque. Pour empêcher l'argent désagrégé formé sur l'anode de tomber sur la cathode, l'anode doit être enveloppée de papier à filtrer blanc fixé par de la cire à cacheter. Le liquide doit être une solution neutre de nitrate d'argent pur contenant environ 15 parties en poids de nitrate et 85 parties d'eau.

La résistance du voltamètre varie un peu pendant que le courant passe. Pour empêcher que ces variations aient une influence trop considérable sur le courant, il est utile d'ajouter dans le circuit une résistance additionnelle. La résistance métallique totale du circuit ne devra pas être inférieure à 10 ohms.

Méthode à suivre pour effectuer une mesure.

La capsule de platine est lavée à l'acide nitrique et à l'eau distillée, séchée à chaud, puis mise à refroidir dans un dessicateur. On la pèse ensuite soigneusement. Puis elle est remplie de solution et placée sur un support de cuivre muni d'une borne. Ce support de cuivre doit être isolé. L'anode est ensuite immergée dans la solution et fixée en place. Le circuit est fermé à l'aide d'une clef et l'on note le moment où le contact est établi.

Le courant doit passer au moins pendant une demi-heure ; on note sa durée. Puis on jette le liquide et on lave le dépôt avec de l'eau distillée, dans laquelle il est abandonné ensuite pendant six heures au moins. On rince à l'eau distillée et à l'alcool, et après séchage dans un bain d'air à 160° C et refroidissement on pèse de nouveau. Le poids gagné représente le métal déposé.

Pour obtenir le courant en ampères, ce poids, exprimé en grammes, doit être divisé par le nombre de secondes durant lesquelles le courant a passé et par 0,001 118. Le résultat sera la moyenne des intensités de courant.

Si l'on détermine par cette méthode la constante d'un instrument, il faut maintenir le courant aussi constant que possible, et les lectures de l'instrument doivent être faites à intervalles très rapprochés. Ces observations fournissent une courbe qui permet de déterminer la lecture correspondant au courant moyen.

SPÉCIFICATIONS RELATIVES A L'ÉLÉMENT CLARK

L'élément est composé de zinc et de mercure dans une solution saturée de sulfate de zinc et de sulfate mercureux dans l'eau, préparée avec un excès de sulfate de mercure.

Préparation des substances.

1. *Mercure.* — Pour l'avoir pur, il faut le traiter à l'acide de la façon habituelle et ensuite le distiller dans le vide.

2. *Zinc.* — Prendre une tige de zinc pur redistillé, y souder un fil de cuivre, nettoyer le tout au papier de verre. Avant de monter l'élément, plonger le zinc dans de l'acide sulfurique dilué, laver à l'eau distillée et sécher avec du papier à filtrer.

3. *Solution de sulfate de zinc.* — Préparer une solution saturée de sulfate de zinc pur recristallisé, en mêlant à l'eau distillée environ deux fois son poids de cristaux de sulfate et en ajoutant de l'oxyde de zinc dans la proportion d'environ 2 o/o du poids de sulfate pour neutraliser l'acide libre. Les cristaux seront dissous en chauffant

légèrement, mais la température de la solution ne doit pas excéder 30° C.

On ajoute ensuite du sulfate mercureux traité comme il sera indiqué ci-dessous dans la proportion d'environ 12 o/o en poids du sulfate de zinc, et la solution est filtrée à chaud. En refroidissant, elle doit laisser déposer des cristaux.

4. *Sulfate mercureux.* — Prendre le sulfate mercureux pur du commerce, le laver à l'eau distillée froide en l'agitant dans un flacon ; décanter l'eau et répéter cette opération au moins deux fois. Après le dernier lavage décanter autant que possible.

Mélanger le sulfate mercureux lavé à la solution de sulfate de zinc, en ajoutant un certain nombre de cristaux de sulfate de zinc pour assurer la saturation, ajouter aussi une petite quantité de mercure pur. Agiter fortement ce mélange, qui se présente alors sous l'apparence d'une pâte de la consistance de la crème. Chauffer la pâte, mais pas au-dessus de 30° C. Tenir la pâte pendant une heure à cette température, en l'agitant de temps à autre ; la laisser refroidir tout en la remuant. Il doit se former des cristaux de sulfate de zinc dans toute la masse ; si cela n'a pas lieu, ajouter quelques cristaux et répéter toute l'opération.

Cette méthode assure la formation d'une solution saturée de sulfates de zinc et de mercure. Le contact avec le mercure est pris au moyen d'un fil de platine d'environ 0,7 mm. Ce fil est séparé des autres substances par un tube de verre dans lequel il est scellé.

Montage de l'élément.

L'élément peut être monté dans un tube à réactif d'environ 2 centimètres de diamètre et 6 ou 7 centimètres de longueur. Verser du mercure au fond de ce tube jusqu'à environ 1,5 cm. de hauteur. Couper un bouchon d'un demi-centimètre d'épaisseur, y percer deux trous, l'un pour recevoir la tige de zinc, l'autre pour le tube de verre qui entoure le fil de platine. Sur le bord du bouchon, faire une entaille pour l'échappement de l'air. Laver le bouchon à l'eau chaude et l'y laisser tremper quelques heures.

Nettoyer soigneusement le tube de verre et le fil de platine, chauffer au rouge l'extrémité exposée du fil, et le plonger dans le mercure, en prenant soin de couvrir tout le fil jusqu'au tube de verre. Introduire la pâte sans toucher les parties supérieures du tube à réactif ; verser à environ 2 centimètres de hauteur au-dessus du mercure. Mettre en place le bouchon, la tige de zinc et le tube de verre. Faire descendre le bouchon presque jusqu'au contact avec le liquide. Avant de sceller l'élément, on le laisse reposer pendant vingt-quatre heures.

Pour le fermer ensuite, on y verse de la glu marine. L'élément ainsi monté peut être disposé dans un bain d'eau ; il est alors plus facile de déterminer sa température. Dans l'emploi de l'élément, on doit éviter toute variation brusque de températures.

NOTES

Solution de sulfate de zinc. — Le but à atteindre est la préparation d'une solution neutre de sulfate de zinc pur saturée avec $2n\ SO^4, 7\ H^2O$. A des températures supérieures à 30° C, le sulfate peut cristalliser sous une autre forme ; c'est pour éviter cela qu'il convient de ne pas dépasser 30° C. A cette température, l'eau dissout environ 1,9 fois son poids de cristaux.

La quantité d'oxyde de zinc dépend de l'acidité de la solution, mais 2 o/o suffiront dans tous les cas. Une autre règle à suivre serait d'ajouter de l'oxyde de zinc petit à petit jusqu'à ce que la solution devienne laiteuse. La solution ne doit plus contenir, dans l'élément, de l'oxyde de zinc libre, qui, mélangé au sulfate mercureux, formerait de l'oxyde mercureux et pourrait altérer la force électromotrice. Cette difficulté est évitée en ajoutant, comme il a été dit, environ 12 o/o de sulfate mercureux avant la filtration ; les réactions ont alors lieu avant la filtration et l'oxyde mercureux se trouve séparé.

Sulfate mercureux. — Le traitement du sulfate mercureux a pour objet d'enlever tout sulfate mercurique, qui en présence de l'eau se décompose en acide et en un sulfate basique. Celui-ci est une substance jaune pratiquement insoluble dans l'eau ; sa présenee n'a pas d'action sur la force électromotrice de l'élément, mais il est accompagné de sulfate acide qui affecte la force électromotrice. L'objet des lavages est d'enlever ce sulfate acide. Le mercure libre aide à l'élimination de l'acide.

A. H.

FAITS DIVERS

A une exposition de machines ouverte récemment à Londres, on voit figurer un moteur à gaz, système Atkinson, remarquable par sa grande légèreté et l'équilibre qu'on a obtenu entre tous les efforts qui se développent dans les organes de la machine, de sorte que celle-ci peut être supportée par des fondations très légères même par le plancher d'un étage supérieur. Les organes en mouvement sont renfermés de manière à ce que des accidents ne puissent se produire si l'on place la machine dans une pièce où circulent un grand nombre de personnes.

Pour préparer du vernis au caoutchouc, M. P. Lehmann indique dans *Dingler's polytechnisches Journal*, les procédés suivants :

1° On dissout 1 partie de caoutchouc dans 1 partie de pétrole et on ajoute à la solution 2 parties de vernis au copal;

2° On fait macérer 2 parties de caoutchouc dans 1 partie d'éther, on chauffe au bain-marie, puis on ajoute 2 parties d'huile de lin et de térébenthine;

3° On fait macérer 1 partie de caoutchouc dans 4 parties de térébenthine pendant plusieurs jours, et on chauffe après avoir ajouté de nouveau 4 parties du même liquide; puis on traite le mélange avec 12 parties de vernis de copal et de 4 parties de vernis à l'huile de lin.

Le caoutchouc employé doit être parfaitement sec; on sèche le caoutchouc en le découpant en bandes minces que l'on expose à une température de 40 à 50°.

La première nouvelle reçue en Europe de l'existence du cuivre natif près du lac Supérieur, a été envoyée par les jésuites en 1659. Le père Alouez a décrit un gisement étendu de cuivre sur la rivière Ontanagon, mais bien avant cette date les Indiens ont extrait du cuivre natif et en ont fabriqué des ornements et des armes. La production de cuivre du lac Supérieur a été, en 1891, de près de 53 000 tonnes, l'Arizona en a produit 19 000 tonnes et le Mintano 51 000 tonnes. On peut dire que la richesse des mines de cuivre des États-Unis est inépuisable.

La société des propriétaires de machines à vapeur d'Allemagne a fait pendant les années 1891-92 une enquête sur les divers procédés en usage pour l'épuration des eaux d'alimentation des générateurs à vapeur. Les réponses que la société a reçues de ses adhérents montrent que 1400 générateurs, ou 5 1/2 o/o du nombre total, sont alimentés avec de l'eau épurée chimiquement, 130, ou 1/2 o/o, avec de l'eau épurée par des moyens mécaniques; dans 150 chaudières, ou 0,6 o/o, on adoucit l'eau dans le générateur même en faisant usage d'appareils spéciaux. Dans 3800 cas, ou 45 o/o, on emploie des réactifs appropriés, tels que la chaux ou la soude, ou bien, lorsque l'eau est très douce, en faisant usage du cachou.

Nous venons de recevoir le premier fascicule des *Archives d'électricité médicale*, recueil mensuel fondé par M. J. Bergonié, professeur de physique médicale à la Faculté de médecine de Bordeaux, et qui compte dans son comité de rédaction M. d'Arsonval, notre savant collaborateur, MM. E. Doumer, C. M. Gariel et un grand nombre de professeurs connus pour leurs travaux en physique médicale.

Le but de cette publication est ainsi tracé dans sa préface :

« On peut s'étonner que les applications médicales de l'électricité, dont l'idée est ancienne, n'aient pas subi un développement plus rapide. Il y a plusieurs raisons à ce retard : la principale consiste certainement dans la complexité des phénomènes qui se passent dans l'organisme ; mais une autre raison, capitale aussi, se trouve dans le manque de précision dans les observations, rendant difficile la reproduction exacte d'une expérience antérieurement faite. Depuis quelques années, les recherches d'électrophysiologie sont poursuivies dans un esprit plus scientifique, et on peut espérer que des lois nettes et précises se dégageront, qui permettront de guider l'électrothérapie dans une voie rationnelle; de même, les observations cliniques présentent maintenant, en général au moins, des indications numériques sans lesquelles elles resteraient sans valeur. Il semble donc que l'électrobiologie soit actuellement en bonne voie et qu'il suffise de faire connaître de part et d'autre les résultats nouveaux pour voir entrer cette branche de la science dans une phase de développement régulier.

« Le nouveau recueil se propose de chercher à relever le niveau des connaissances en électricité parmi la moyenne des médecins qui s'occupent d'électrothérapie. Ces connaissances sont d'ailleurs de plus en plus nombreuses et complexes. Aujourd'hui la forme de l'onde utilisée doit être définie, demain il faudra mesurer l'intensité efficace des courants périodiques que l'on emploiera. Il ne sera donc pas permis au biologiste d'ignorer les solutions techniques et les théorèmes quelquefois ardus que l'industrie et la physique électrique mettent incessamment à jour. »

Ces considérations montrent l'utilité d'une publication basée sur ce programme; espérons qu'elle nous aidera à établir une démarcation nette entre les médecins électrothérapistes et les marchands de ceintures et d'effluves électriques.

Les journaux viennois annoncent la mort du professeur

J. Stefan. Ce savant, qui présidait en 1883 la commission scientifique internationale de l'exposition d'électricité de Vienne, était vice-président de l'Académie des sciences de Vienne, et président de la section des sciences mathématiques et physiques On lui doit de nombreux travaux sur la propagation du son, la réfraction, la polarisation et l'interférence de la lumière, la conductibilité calorifique et de nombreuses contributions à l'étude des forces magnétiques et électriques.

Depuis quelques semaines, on entend de nouveau beaucoup parler de l'application de l'électricité en sucrerie. Nous ne sommes guère disposés à accorder créance à tous ces bruits, avant que l'on nous ait montré des procédés en fonctionnement. Dans certains cas, il est question du raffinage du sucre par l'électricité; dans d'autres cas, on parle vaguement d'électrolyse; jusqu'à présent. l'électricité ne semble guère en voie de trouver une application dans cette branche très importante d'industrie.

Le Post-Office des États-Unis va mettre à l'essai entre New-York et Brooklyn le système de transmission des lettres de l'Automatic Dispatch Company. Le transport des lettres sera effectué par un tramway à trolley en miniature, enfermé dans un tuyau de 40 centimètres. Les wagonnets porteurs sont en fil d'acier; leur longueur est de 1,20 m.; chacun d'eux peut transporter 3000 lettres. A l'extrémité de chaque wagonnet se trouve un petit moteur électrique empruntant le courant à un fil placé entre les rails. On espère que la distance entre les deux bureaux de poste sera parcourue en cinq minutes.

Toutes les commutations se font automatiquement, de sorte que les employés n'ont qu'à charger les wagonnets et à leur donner une première impulsion.

MM. Kreichgauer et Jaeger viennent de publier le résultat de leurs mesures relatives à la variation thermique de la résistance du mercure. Ces mesures, exécutées à l'Institut physico-technique d'Allemagne, ont conduit les deux auteurs à une formule très voisine de celle que M. Ch. E. Guillaume a fait connaître à l'Académie au mois de septembre dernier, ce que d'ailleurs ces deux auteurs font remarquer dans leur mémoire. D'autre part, M. Helmholtz, dans son récent rapport au Reichstag, ayant insisté aussi sur cette concordance, M. Guillaume présente aujourd'hui une nouvelle note qui a pour but de montrer que l'accord entre les deux formules est encore plus parfait qu'on ne pouvait le croire à première vue.

Un directeur de station centrale, dans une lettre à l'*Electrical Engineer*, observe que la majorité des stations centrales existant actuellement aux États-Unis n'ont pu résister à l'épreuve du temps, et il pense que la plupart d'entre elles devront être beaucoup améliorées, reconstruites ou abandonnées dans un avenir peu éloigné. Cet état de choses n'est pas dû entièrement aux constructeurs; dans beaucoup trop de cas les directeurs, étant des commerçants ne comprenant rien aux choses électriques, insistent sur l'emploi d'une main-d'œuvre peu instruite et inexpérimentée, par conséquent meilleur marché. Comme il n'y a guère d'industrie où l'ignorance soit plus préjudiciable que dans l'établissement d'installations électriques, il n'a pas fallu beaucoup de temps pour amener les mauvais résultats financiers qui sont inévitablement la conséquence des méthodes d'exploitations aussi illogiques.

Dans les meilleures conditions, la marge laissée aux bénéfices dans l'éclairage électrique n'est pas très considérable, étant limitée d'une part par la concurrence du gaz et des autres illuminants, d'autre part par la cherté du combustible. Il est donc important que les personnes qui gèrent des installations électriques aient les connaissances techniques voulues pour ne commettre aucune faute. La meilleure preuve de la non observation de cette règle c'est que malgré le développement régulier de l'industrie électrique, de nombreux ingénieurs de talent ne trouvent pas à utiliser leurs connaissances.

L'indigo est la seule couleur végétale qui ait pu braver la concurrence des couleurs artificielles. On est bien arrivé à préparer cette matière tinctoriale artificiellement, mais son prix de revient est encore trop élevé pour supplanter l'indigo naturel. Devant les progrès incessants de la chimie, et pour ne pas voir leur industrie disparaître comme celle de la garance, les indigotiers se mirent à perfectionner leurs méthodes. C'est ainsi qu'ils viennent de se servir du courant électrique comme oxydant dans la réduction de l'indigo.

On sait comment se prépare communément ce corps. Il existe dans les plantes qui le produisent à l'état d'indican, un glucoside particulier, qui se dédouble en indiglucine soluble, puis en indigotine, et en indirubine insoluble, l'indigotine étant la matière colorante de l'indigo. Pour préparer ce dernier, les plantes sont séchées, et les feuilles sont mises à macérer dans l'eau. Le jus qu'on en retire est jaune il renferme l'indigotine à l'état d'indigo blanc ou réduit. En l'agitant à l'air, il se forme un dépôt bleu qui est l'indigo du commerce. Le courant électrique oxyde mieux la liqueur réduite, car l'indigo qui se précipite dans ce cas est plus pur et d'une grande finesse. L'électrolyse se fait dans une cuve en bois et avec des électrodes en cuivre.

M. Léon Descroix a donné en 1882 un tableau comparatif des valeurs observées et calculées de la déclinaison magnétique depuis cent cinquante années. La formule

d'interpolation à laquelle il était parvenu représentait les faits avec assez d'exactitude jusqu'en 1882, pour que l'on se crût en droit, en extrapolant, d'assigner, au moins pour un quart de siècle, les valeurs probables du même élément.

M. Descroix fait remarquer qu'un récent travail de M. Faelheggen, de l'observatoire de Goettingen, permettait également de penser que le recul de la pointe nord de la boussole vers l'est serait, à Paris, par exemple, de 81′ entre 1880 et 1890; tandis qu'il ne fut en réalité que de 65′.

Pour se procurer, par surcroît, une vérification de cette anomalie, l'auteur a refait, après seize années écoulées, le même genre de déterminations, aux mêmes lieux, avec la même boussole qui servit à M. Marié-Davy et à lui pour leur excursion de 1875-1876.

De plus, à constater les publications des observatoires de Paris, Saint-Maur, Bordeaux, Copenhague, Palerme, Coïmbre (Portugal), le fait à constater est bien celui d'un ralentissement notable de la marche vers l'occident des nœuds de l'équateur magnétique. N'y a-t-il là qu'une défaillance passagère, ou bien l'accélération prévue de la variation séculaire est-elle définitivement entravée? C'est ce qu'on ne pourrait dire; bien qu'on croie voir qu'il a dû se produire quelque chose de semblable autour de 1760, alors que la déclinaison magnétique était au contraire, à Paris, en marche vers l'élongation maxima.

L'oxyde de plomb hydraté, que l'on emploie dans l'industrie chimique pour différents usages, peut se préparer électrolytiquement par le procédé suivant, indiqué par la *Revue de chimie industrielle*.

On plonge des électrodes de plomb dans une dissolution de nitrate de soude à 10 o/o, contenue dans une cuve à diaphragme. Il se forme, d'un côté du nitrate de plomb, et de l'autre de la soude caustique. Lorsque le courant a agi pendant un certain temps, on fait couler les liquides de la cuve dans une seconde cuve munie d'un agitateur; la soude et le nitrate de plomb donnent de l'oxyde de plomb et du nitrate de soude qui se régénère. On filtre au filtre-presse pour recueillir l'oxyde de plomb et on envoie le liquide dans la cuve à diaphragme pour une nouvelle opération. L'oxyde de plomb est lavé, séché et pulvérisé.

On peut rendre l'opération continue en alimentant constamment les deux compartiments de la cuve à diaphragme avec du nitrate de soude régénéré; il s'écoulera des mêmes compartiments un volume égal de liquide dans la cuve agitateur. Ce liquide est envoyé par une pompe au filtre-presse et le liquide clair est retourné dans l'électrolyseur.

Un ampère-heure produit 4,5 grammes d'oxyde de plomb.

On a commencé la construction de la station d'énergie pour le district Est du chemin de fer électrique de Brooklyn. Cette station développera une puissance de 12000 chevaux. Une première station, celle de l'Atlantic Avenue, sera probablement terminée à la fin du mois de février, ce qui permettra d'inaugurer le service de ce chemin de fer électrique.

Eclairage électrique.

A signaler à l'usage des détracteurs de l'éclairage électrique une petite démonstration bien amusante donnée par l'*Electrical World* : L'électricité est un agent dont la nature est inconnue; l'origine de tel incendie est de nature inconnue; par conséquent, comme deux choses égales à une troisième sont égales entre elles, l'origine de l'incendie en question est l'électricité.

La municipalité de la ville de Reims accepterait d'un entrepreneur électricien des offres de service pour l'établissement de la lumière électrique en ville. La compagnie du gaz n'a qu'une autorisation provisoire et devrait se retirer si une société d'électricité faisait une demande de concession. La ville de Reims est donc entièrement libre de répondre favorablement à quiconque se présenterait.

Dans une conférence sur l'éclairage par l'électricité et par le gaz, M. A. Court fait remarquer qu'il n'y a pas à Londres deux districts, où les rues d'égale largeur soient éclairées par la même quantité de lumière par unité de surface. A Saint-Pancrace les lampes à arc se trouvent sur des poteaux au centre des carrefours; tandis que Westminster se contente de becs de gaz placés au milieu de la voie et aux coins des trottoirs.

Les becs de gaz ont été beaucoup perfectionnés dans ces derniers temps. Les lampes à 3 et à 5 becs de Westminster consomment respectivement 0,9 et 1,4 mètre cube par heure, et représentent 90 et 150 bougies. Pour les becs du second genre, les constructeurs indiquent malgré cela une puissance lumineuse de 270 bougies.

Une lampe à arc de 10 ampères coûte avec son poteau et sa lanterne 460 francs; une lampe à gaz de 1,4 mètre cube par heure coûte avec poteau et lanterne 360 francs. Le prix payé annuellement pour une lampe à arc, comprenant la fourniture du courant, le nettoyage, le remplacement des charbons, etc, est de 650 francs. Un brûleur à 5 becs coûte par an 625 francs; pourtant dans ce dernier cas, la lumière fournie n'est que le dixième de celle que donne la lampe à arc.

Pour obtenir un éclairage un peu convenable, il faudrait établir cinq brûleurs à cinq becs à la place d'une lampe à arc de 10 ampères. Sur cette base les frais de première installation sont pour l'électricité 1, pour le gaz

3, 9 ; et les dépenses courantes sont dans le rapport 1 à 4,8.

Chaque fois que l'on compare l'éclairage électrique à l'éclairage au gaz, il faut, si l'on veut être impartial, prendre pour base de comparaison une égale quantité de lumière fournie. et dans ce cas l'avantage reste à l'électricité.

La question de l'installation de la lumière électrique dans la ville du Caire, pour les particuliers, vient d'être résolue.

A la suite de nombreuses demandes de la part des particuliers pour avoir la lumière électrique dans leurs maisons ou établissements, la compagnie du gaz a fait un projet qu'elle a soumis au gouvernement égyptien, s'obligeant à installer elle-même l'éclairage électrique. A cet effet, la compagnie demandait au gouvernement l'autorisation de lui permettre l'installation des fils électriques à travers les rues, à titre d'essai, pendant une période de cinq années.

Dans une réunion tenue au ministère des travaux publics par la commission des concessions, les propositions de la compagnie du gaz ont été examinées et adoptées en principe. Le projet sera soumis à l'approbation du conseil des ministres dans une de ses prochaines séances.

La Société monégasque d'électricité, au capital de 675 000 francs, a le monopole de la distribution de l'éclairage, pour une durée de cinquante années, dans toute la principauté.

Pendant le premier exercice de onze mois, les installations ont été faites chez les clients, et comme elles n'ont été terminées que vers la fin de la saison, les recettes ont été assez faibles. Ce premier exercice accuse cependant un bénéfice de 24 800 francs.

La campagne 1892-93 s'ouvre avec un fonctionnement de 2613 lampes, en augmentation de 350 lampes sur la fin de l'exercice dernier.

D'après les polices souscrites, les recettes de l'éclairage présenteront une augmentation certaine de 50 000 francs, sans notable augmentation des frais.

La petite ville d'Andouillé (Mayenne), mettant à profit une force hydraulique, a fait installer l'éclairage électrique. La force motrice est fournie par une turbine construite par la maison Malliary d'Essonnes, et pouvant fournir 40 chevaux environ. Elle est actionnée par le débit de la rivière l'Ernée sous une chute de 2,10 m. La surveillance incombe au meunier chez qui est montée la dynamo.

La dynamo et toute la partie électrique a été fournie et montée par la Société anonyme d'électricité de Courbevoie. La dynamo est de 14 000 watts et distribue à 110 volts.

Les lampes municipales sont de 32 bougies. Deux arcs montés sur la grande place donnent un brillant éclairage pour les dimanches et jours de fête.

La Société compte jusqu'ici une centaine d'abonnés pour des lampes de 16 bougies. Le prix d'abonnement est seulement de 25 francs par lampe et par an. En outre, la même lampe peut être utilisée en deux ou trois endroits différents, grâce à un dispositif spécial de commutateurs, C'est en raison de cette combinaison que la Société a pu obtenir un nombre d'adhésions assez grand, étant donnée la très faible importance de ce bourg.

La partie intéressante de cette installation réside dans l'emploi d'un régulateur de vitesse qui permet d'assurer à la turbine une marche absolument régulière, malgré les grandes variations du débit, et qui réduit considérablement la surveillance à exercer.

Télégraphie et Téléphonie.

Les gouvernements suédois et norvégien s'occupent actuellement de la mise en relation des deux pays par des lignes téléphoniques, et l'on espère que Stockholm et la Suède entière pourront bientôt communiquer téléphoniquement avec Christiania et le reste de la Norvège.

La Suède possède d'ailleurs dès maintenant un réseau téléphonique très bien établi. Lorsqu'on aura réalisé les lignes de communication, toute la presqu'île scandinave, ayant une surface de 700 000 kilomètres carrés, sera couverte d'un réseau téléphonique.

Depuis que le gouvernement suédois a pris en mains l'exploitation de la téléphonie, des sommes considérables ont été employées pour son développement, et il n'y a guère de ville de troisième et même de quatrième rang qui ne soit pas reliée au réseau principal, c'est-à-dire aux lignes qui relient Stockholm avec Malmoe, d'une part, et Gothenbourg de l'autre. Les lignes sont toutes à deux conducteurs formés de fils de cuivre assez gros, ce qui donne naturellement au point de vue technique les meilleurs résultats; la transmission est partout extraordinairement bonne.

On peut dire, en somme, que le réseau téléphonique urbain et interurbain de Suède est un des meilleurs qui existent.

Imprimeur-Gérant : V. Nory.

Imprimerie de la Lumière Électrique. — Paris, 31, boulevard des Italiens.

La Lumière Électrique

Journal universel d'Électricité

31, Boulevard des Italiens, Paris

DIRECTEUR : Dr CORNÉLIUS HERZ

XVe ANNÉE (TOME XLVII) SAMEDI 4 FÉVRIER 1893 N° 5

SOMMAIRE. — Photométrie et photoptométrie; Charles Henry. — Les lampes à incandescence; Gustave Richard. — Préparation de la gutta-percha; Dr Léon Brasse. — Self-induction et capacité; F. Guilbert. — Chronique et revue de la presse industrielle : Procédé électrolytique Andréoli. — Electrolyse Faure. — Poêle thermo-électrique Giraud. — Traction électrique système Cattori, avec distribution en série par canalisation souterraine. — Trieur électro-magnétique Lovett. — Isolateurs au mica Pratt. — Emploi d'un shunt à grande self-induction dans la télégraphie par câble. — Sur une méthode de compensation de la réaction d'induit, par H.-J. Ryan. — Revue des travaux récents en électricité : Note sur la purification du mercure, par M. W. Jaeger. — Recherches expérimentales sur les transformateurs à courants alternatifs, par M. J.-A. Fleming. — L'indice de réfraction des rayons électriques dans l'alcool, par H.-O.-G. Ellinger. — Sur une théorie électrolytique des diélectriques, par A.-P. Chattock. — Faits divers.

PHOTOMÉTRIE ET PHOTOPTOMÉTRIE

I

MESURE DES ÉCLAIREMENTS TRÈS FAIBLES

1. Les photomètres actuellement connus sont fondés ou bien sur des faits physiques (loi de l'inverse du carré de la distance, loi du cosinus, diaphragmation des lentilles convergentes, dispersion par les lentilles divergentes, absorption par des milieux d'épaisseur variable, polarisation, etc.), ou bien sur des phénomènes physiologiques (persistance des impressions lumineuses sur la rétine, dilatation de la pupille, etc.). La plupart de ces instruments ont l'inconvénient d'être peu portatifs et, comme tous les appareils destinés à mesurer des quantités sur une échelle relativement étendue, ils deviennent peu précis quand il s'agit de mesurer des intensités très faibles.

Dans le photomètre de M. Mascart, ce double inconvénient est atténué le plus possible : il existe de cet appareil un petit modèle très portatif, quoique d'un prix de revient encore assez élevé, et toutes les personnes qui se sont occupées de photométrie pratique savent qu'en interposant entre la lentille diaphragmée et la lampe de comparaison des verres dépolis ou des papiers en nombre suffisant, on peut étalonner cet appareil avec des unités d'éclairement très faibles. Néanmoins, pour des ouvertures très petites du diaphragme de l'écran récepteur, l'erreur commise dans la lecture de la graduation, erreur qui est exprimée par une fraction de millimètre, sensiblement toujours la même, représente une fraction nécessairement grande de la quantité mesurée. Il y a là, imposée par le principe, une limite de précision qu'il est impossible de franchir.

Le photomètre-photoptomètre que j'ai fait construire par la Société centrale de produits chimiques, spécialement destiné à la mesure des éclairements très faibles, est fondé sur la loi de déperdition lumineuse avec le temps d'un corps remarquable relativement aux sulfures alcalino-terreux par son inaltérabilité chimique, le sulfure de zinc phosphorescent que je suis parvenu à préparer industriellement.

2. M. Sidot a décrit ainsi un procédé par lequel il est parvenu en 1866 à obtenir du sulfure de zinc phosphorescent :

« Pour obtenir la blende hexagonale jouissant de cette propriété il faut faire passer de préférence un courant d'acide sulfureux bien pur sur du sulfure de zinc cristallisé (soit la blende naturelle, soit celle que l'on obtient par la calcina-

tion du sulfure amorphe) placé dans un tube de porcelaine très fortement chauffé pendant quatre à cinq heures au moins. Je dois ajouter que cette préparation est des plus laborieuses, car si l'on veut volatiliser la totalité du sulfure il ne faut opérer que sur 3 ou 4 grammes de matière, et c'est seulement au bout de deux heures de la plus haute température que les cristaux commencent à apparaître dans la partie réfroidie du tube et y grandissent assez pour en occuper tout le diamètre intérieur. Si au contraire on veut avoir une plus grande quantité de ces cristaux, il faudra agir sur un excès de sulfure qui donnera dans le même temps une bien plus grande quantité de cristaux phosphorescents. Il n'est pas possible de maintenir cette haute température nécessaire à la volatilisation de la blende au-delà de cinq heures, attendu que le tube finit toujours par fondre, non pas par un effet seul de la température, mais par l'action de la silice du tube de porcelaine sur les matières basiques des cendres, d'où résulte, comme on le sait, un verre très fusible [1]. »

Cette préparation si intéressante, mais si laborieuse, ne permet, comme on voit, d'obtenir que de petites quantités de matière.

3. On peut obtenir plusieurs kilogrammes à la fois d'un beau sulfure de zinc phosphorescent en traitant par l'ammoniaque une solution parfaitement neutre de chlorure de zinc pur, en redissolvant dans un excès d'ammoniaque le précipité formé, en précipitant complètement, mais sans le moindre excès, l'oxyde de zinc ammoniacal par l'hydrogène sulfuré, en chauffant jusqu'au blanc, avec des précautions convenables, dans un creuset de terre réfractaire placé à l'intérieur d'un creuset de graphite brasqué au charbon, le sulfure de zinc amorphe parfaitement lavé et séché à l'abri de toute impureté.

Je n'ai obtenu que des phosphorescences très faibles ou nulles soit en partant d'autres sels que le chlorure (carbonate, nitrate, sulfate, oxalate, acétate), soit en partant directement de l'oxyde de zinc, soit en précipitant l'oxyde ammoniacal par un autre sulfure que l'acide sulfhydrique, par exemple le sulfhydrate d'ammoniaque ou des sulfures alcalins comme le sulfure de sodium ou le sulfure de potassium. Il semblerait que le sulfure de zinc ne devient phosphorescent que quand il est parfaitement pur, contrairement à ce qui arrive pour les sulfures alcalino-terreux; c'est ce qui paraît ressortir de la préparation elle-même et de nombreux essais de chauffe après addition de matières étrangères : sulfate de manganèse, acétate de plomb, carbonate de lithium, carbonate de thallium, chlorure de strontium, sous-nitrate de bismuth, etc., qui empêchent la phosphorescence, du moins dans les proportions que j'ai essayées.

Il serait d'autant plus intéressant d'approfondir ce point que des travaux récents attribuent la phosphorescence des sulfures alcalino-terreux à la présence du cuivre, du bismuth, du manganèse et d'un quatrième métal indéterminé, et qu'on a pu préciser les corps aux traces desquels il faut rattacher les diverses colorations dont est susceptible le sulfure de calcium phosphorescent [1].

4. On peut par un artifice de chauffe obtenir le sulfure de zinc sous deux aspects très différents : en grains agglomérés très durs et très lumineux, ou en poudre impalpable, moins lumineuse, mais maniable. Les agglomérés une fois réduits en poudre perdent beaucoup de leur phosphorescence, de sorte qu'il est illusoire de chercher à les obtenir, s'ils doivent être incorporés ensuite dans des tissus ou fixés sur des subjectiles quelconques.

5. Il m'a paru intéressant de chercher à déterminer l'intensité lumineuse maxima du sulfure obtenu en grains. J'ai renfermé 5,432 gr. de ces grains dans un tube de verre de 10 millimètres de diamètre et de 42 millimètres de haut. J'ai comparé l'intensité de ce tube saturé par la lumière du magnésium, à la température de 30°, avec une lampe électrique bien constante, alimentée par une pile thermo-électrique Gulcher. Il s'agissait de repérer au préalable cette lampe avec une bougie. Les intensités de deux sources déterminant sur l'écran Foucault le même éclairement sont proportionnelles aux carrés de leurs distances à l'écran. J'ai trouvé ainsi pour l'éclairement de la petite lampe électrique en bougie-mètre le nombre $\frac{\overline{0^m 13}^2}{\overline{3^m 75}^2}$

[1] *Comptes rendus*, LXIII, p. 188.

[1] Ueber die Phosphorescenz des Kupfers, Wismuths und Mangans in den Erdalkalisulfiden von Virgil Klatt und Philipp Lenard (*Wiedmann's Annalen*, 1889, III, p. 90). — VERNEUIL, *Comptes rendus*, 1886, t. CIII, p. 600, 1887, t. CIV, p. 501.

= 0,00120159. J'ai placé à cette même distance d'un mètre du plan de l'écran diffuseur extérieur du photomètre Mascart l'étalon de sulfure saturé de lumière, et j'ai trouvé qu'il fallait pour égaler son intensité à celle de la lampe de comparaison une ouverture du diaphragme 5,57 fois plus grande que pour la lampe électrique. Il en résulte pour l'éclairement maximum du sulfure le nombre 0,000215 bgm., nombre certainement trop faible à cause de la décroissance très rapide de l'intensité lumineuse dans les premiers instants après la saturation et de l'impossibilité de saisir l'éclairement maximum, quelles que soient la dextérité et la rapidité des opérateurs.

Cette détermination aurait été impossible avec le photomètre Mascart, à cause de la grande quantité de lumière qu'absorbe tout écran, si je n'avais supprimé l'écran diffuseur, et si un calcul, d'ailleurs simple, ne montrait que la quantité de lumière émise par une source d'intensité donnée sur l'écran Foucault du photomètre Mascart est inversement proportionnelle au carré de la distance de cette source au plan de l'écran diffuseur, que cet écran existe ou non [1].

Edmond Becquerel a trouvé pour l'intensité lumineuse maxima du phosphate d'urane et du sulfure de strontium des nombres plus forts. « L'intensité maximum de la lumière émise lorsque les rayons solaires frappent ce corps dans le phosphoroscope a donné, comparativement à la lumière émise par le phosphate d'urane, des rayons de même nuance, mais dont l'intensité est les 0,027 de cette dernière ; or, on a vu que le phosphate d'urane excité par les rayons solaires réfléchis donne une intensité lumineuse égale à 0,08 de la partie moyenne de la flamme d'une bougie ; si donc on admet que la réflexion sur la surface métallique fasse perdre 0.30 de la lumière incidente, on voit que le sulfure de strontium, au moment où ayant été exposé à l'action des rayons solaires directs il est rentré dans l'obscurité, a un éclat qui est au maximum les 0,0031 de celui d'une bougie [1]. »

6. La loi d'émission de la lumière du sulfure de zinc ne saurait être la même pour le sulfure obtenu en agglomérés, lequel présente des parties dénuées de phosphorescence surtout dans les masses qui ont été en contact avec la porcelaine ou la terre réfractaire du creuset et pour le sulfure obtenu en poudre parfaitement homogène. Pour avoir une idée de la loi d'émission

---

[1] En effet, considérons l'appareil avec ou sans écran extérieur D (fig. 1 et 2); soient M, l'écran Foucault près de l'oculaire dans le premier cas; N, le même écran dans le

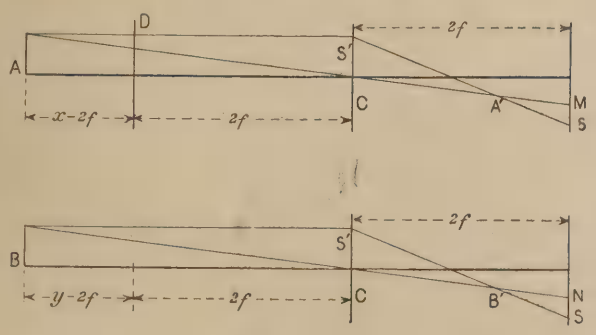


Fig. 1 et 2.

second cas, C, la lentille située à une distance de ce dernier écran double de sa distance focale principale; A, un objet lumineux, d'une intensité i, M S, l'image de cet objet sur l'écran M: B, un objet lumineux, d'une intensité i', dont l'image N S tombe sur l'écran N. On a

$$\frac{S}{S'} = \frac{\overline{MA'}^2}{\overline{CA'}^2};$$

mais la quantité de lumière q qui tombe sur S' est égale à $\frac{S'i}{\overline{CA}^2}$; donc on peut poser pour l'objet A :

$$q = S\,\frac{\overline{CA'}^2}{\overline{MA'}^2}\,\frac{i}{\overline{CA}^2}.$$

Pour l'objet B on a de même

$$q = S\,\frac{\overline{CB'}^2}{\overline{NB}^2}\,\frac{i'}{\overline{CB}^2}.$$

Mais $CA' + MA' = 2f$ approximativement, et d'après la théorie des lentilles on a

$$\frac{1}{CA} + \frac{1}{CA'} = \frac{1}{f},$$

ou, en posant $x = CA$,

$$CA' = \frac{fx}{x-f}$$

De même

$$MA' = \frac{f(x-2f)}{x-f};$$

donc

$$q = \frac{Si}{(x-2f)^2}.$$

En posant $y = CB$, on trouve de même

$$q = \frac{Si'}{(y-2f)^2};$$

ce qu'il fallait démontrer.

[1] *La Lumière, ses causes et ses effets*, t. I, p. 297.

du sulfure en grains, j'ai rapproché du plan de l'écran diffuseur du photomètre Mascart l'étalon précité aux distances de 0,75, 0,50, 0,33, 0,25 m. et j'ai mesuré les temps au bout desquels trois observateurs notaient l'égalité avec l'éclairement du sulfure à 1 mètre, précédemment mesuré et présenté avec l'écartement nécessaire du diaphragme par la lampe de comparaison de ce photomètre. Les éclairements du sulfure à ces distances et celui de cette lampe ont paru respectivement égaux au bout de 3, 7, 11 et 14 secondes. Il en résultait pour la loi de déperdition de la lumière jusqu'à 14 secondes la relation

$$i_t = i_0 e^{-at},$$

i_t désignant l'intensité au temps t, i_0 l'intensité au temps zéro, e la base des logarithmes népériens, a un coefficient de vitesse. En effet, on déduit de cette formule en utilisant les quatre séries d'expériences, pour a les valeurs sensiblement constantes 0,1904; 0,1981; 0,1997; 0,1998. C'est la formule classique du refroidissement des corps, vérifiée avec la chaleur pour les différences très petites de température entre l'enceinte et le corps.

La faiblesse de l'intensité lumineuse et l'inapplicabilité de la loi du carré des distances pour des distances très petites de l'objet à l'écran diffuseur ne permettaient pas d'étudier, pour des durées plus longues, la loi d'émission d'ailleurs incomparablement moins intéressante pour des grains que pour des poudres homogènes.

7. Pour établir la loi de déperdition lumineuse du sulfure de zinc en poudre, j'ai comparé l'éclat propre de cette poudre fixée sur un écran par la gomme adragante avec l'éclairement d'un écran translucide éclairé par une bougie pour les intensités jusqu'à 85 secondes et par la lampe électrique précitée pour les intensités aux temps plus longs. La couche de sulfure a environ 0,9 mm. d'épaisseur; il n'y aurait pas d'intérêt pratique à accroître cette épaisseur en vue d'obtenir plus d'éclat. Si la couche était notablement moins épaisse, on trouverait une loi de déperdition différente; nous aurons l'occasion de revenir sur la loi de déperdition lumineuse dans le cas d'épaisseurs très faibles des couches. Étant donnés l'écran translucide et l'écran phosphorescent séparés par une cloison perpendiculaire, il s'agissait de noter les distances auxquelles il convenait de reculer la source de lumière pour obtenir l'égalité de teinte de l'écran translucide et de l'écran phosphorescent au bout de temps donné après la saturation lumineuse du sulfure. Ces mesures, je les ai faites avec le nouveau photomètre-photoptomètre.

Cet appareil très simple (fig. 3) consiste en trois tubes noircis intérieurement qui se raccordent. Celui qu'on applique contre l'œil est muni, de ce côté, d'une lentille convergente A (fig. 4) à grande distance focale ayant pour but de supprimer du champ de la vision distincte les parois du tube. Ce tube glisse à coulisse dans un autre présentant deux échancrures ellipsoïdales en bas et en haut; un ruban de magnésium de 3 millimètres

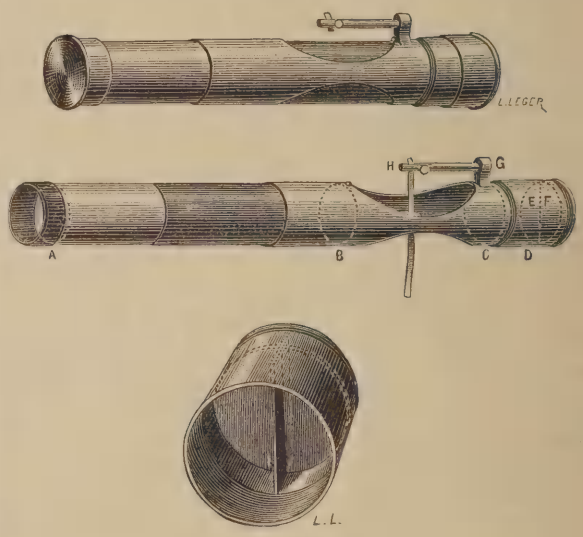


Fig. 3, 4 et 5

de large, de 15 centimètres de long environ, et d'un dixième de millimètre d'épaisseur, suspendu à une potence H, est destiné à brûler dans cet espace, isolé de l'intérieur de l'appareil par deux verres protecteurs B, C : ces dimensions du ruban suffisent à donner au sulfure l'illumination maxima.

Sur ce tube moyen sont vissés intérieurement une bague qui peut maintenir en vue de la photoptométrie un nombre variable à volonté de verres dépolis C; extérieurement, le tube antérieur terminé par deux écrans semi-circulaires, E, F, séparés par une cloison perpendiculaire D, l'un composé de verres dépolis de couleur jaune verdâtre identique à la teinte phosphorescente, et auquel on peut substituer, en vue des intensités plus ou moins faibles, tout autre écran

moins ou plus absorbant par le simple jeu d'une bague, reçoit la lumière extérieure; l'autre est recouvert de sulfure de zinc (fig. 5). On sépare le tube postérieur du tube antérieur, on allume le ruban de magnésium, on note le temps au moment de l'extinction; on replace le tube postérieur contre le tube antérieur, on note le temps au bout duquel il y a égalité d'éclat d'un des deux écrans avec l'éclairement de l'autre.

En donnant la valeur 100 à l'éclat du sulfure au bout de 85 secondes, éclat égal à l'éclairement de l'écran translucide par une bougie à 3,75 m., on a trouvé, au laboratoire de photométrie des travaux mécaniques de la compagnie parisienne du gaz, pour les éclats aux différents temps les valeurs suivantes :

Tableau des observations d'intensité du sulfure de zinc en fonction du temps.

Les signes + × ⊙ indiquent les trois observateurs.

t	i	t	i
3,5	1120 +	310	13,9 +
»	1150 ×	320	13,6 ⊙
10	642 +	347	12,1 +
»	655 ×	355	11 ⊙
19	382 +	385	9,9 ⊙
22	405 ×	401	9,1 ⊙
27	297,5 ×	403	10,6 +
31,5	259 +	422	9 ⊙
41	208 +	446	8,95 +
46	239 ×	453	8,3 ⊙
70,5	146,5 +	484	7,5 ·
72	157 ×	519	7,1 ⊙
85	100	534	7,34 +
103	62 +	555	6,6 ⊙
110	64,6 ⊙	616	6,5 +
113	42,2 +	619	6,25 ⊙
123	46,1 ⊙	648	5,70 +
128	34,9 +	732	5,5 ⊙
150	31 ⊙	752	4,86 +
158	32 +	839	4,26 +
180	28,2 +	846	4,66 ⊙
181	26,8 ⊙	908	3,92 ⊙
190	25 +	932	3,77 +
201	22,4 +	1009	3,3 ⊙
203	23,5 ⊙	1042	3,26 +
226	18,5 ·	1132	2,66 ·
228	20,1 +	1148	2,77 +
240	18,2 +	1215	2,36 +
247	16,6 ⊙	1288	2,04 +
259	16,1 +	1331	1,9 ·
275	14,5 ⊙		

Si on porte en abscisses les temps et en ordonnées les intensités, on remarque la presque complète concordance des observateurs + et ⊙; l'observateur × étant notoirement moins expérimenté en photométrie, on a tenu compte de ce fait dans le tracé de la courbe qui relie ces différentes observations (fig. 1 de la planche) On est parvenu ainsi, et en tenant compte de diverses remarques suggérées par les circonstances des observations et consignées sur le registre d'expériences, à substituer aux valeurs brutes de l'observation les valeurs corrigées suivantes :

t	i	t	i
3,5	1120	133,3	40,4
10	654	216,6	20,7
20	402	300	13,7
30	301	383,3	10,3
40	234	466,6	8,25
50	190	550	7,08
60	156	633	6,1
70	128	800	4,6
80	108	966,6	3,5
85	100	1133,3	2,6
100	78,4	1300	1,9

8. J'ai cherché à relier ces deux ordres de quantités par une relation mathématique, et après des tâtonnements laborieux je suis parvenu à une constance relativement satisfaisante par une expression de la forme $i^m (c + t) = K$, en donnant à m la valeur 0,6 et à c la valeur 32,5. Le tableau précédent devient, en tenant compte dans les sommations des décimales non inscrites :

0,6 log i	log $(t + 32,5)$	0,6 log i + log $(t + 32,5)$	0,6 log i	log $(t + 32,5)$	0,6 log i + log $(t + 32,5)$
1,829	1,556	3,385 (*)	0,963	2,219	3,183 (*)
1,689	1,628	3,317	0,789	2,396	3,185
1,562	1,720	3,282	0,682	2,521	3,204
1,487	1,795	3,283	0,607	2,618	3,225
1,421	1,860	3,281	0,549	2,698	3,247
1,367	1,916	3,283	0,510	2,765	3,275
1,315	1,966	3,281	0,471	2,823	3,294
1,264	2,010	3,275 (*)	0,398	2,920	3,318
1,219	2,051	3,270	0,326	2,996	3,325
1,20	2,070	3,270	0,249	3,066	3,315
1,134	2,122	3,256	0,1694	3,124	3,293

La moyenne des valeurs de K est 3,27486. La méthode suivante permet de trouver des valeurs de m et de c conduisant à des valeurs de K plus rapprochées de cette moyenne.

Posons $m = 0,6 + \alpha$; $c = 32,5 + \beta$; $\log K = 3,274 + \gamma$. On peut écrire

$$\log (t + c) = \log (t + 32,5) \left(1 + \frac{\beta}{(t + 32,5)}\right),$$

et, comme dans la série de Mercator,

$$\log (1 + x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{4} + \ldots$$

lorsque x est très petit on peut négliger les

termes $-\frac{x^2}{2}+\frac{x^3}{3}$, etc., il est permis, $\frac{\beta}{(t+32,5)}$ étant très petit, de substituer à l'équation précédente celle-ci :

$$\log(t+c)=\log(t+32,5)+\frac{\beta}{(t+32,5)}$$

d'où

$$0,6\log i+\alpha\log i+\log(t+32,5)+\frac{\beta}{(t+32,5)}=3,274+\gamma.$$

Appelons ε, ε', ε'' les différences avec la moyenne 3,274 des trois valeurs de K les plus différentes les unes des autres, marquées par un astérisque dans le tableau précédent, et respectivement égales à 0,001, 0,111 et — 0,091, nous n'avons qu'à résoudre le système de ces trois équations :

$$\alpha\log i+\frac{\beta}{(t+32,5)}-\gamma=-\varepsilon,$$

$$\alpha\log i'+\frac{\beta}{(t'+32,5)}-\gamma=-\varepsilon',$$

$$\alpha\log i''+\frac{\beta}{(t''+32,5)}-\gamma=-\varepsilon'',$$

d'où l'on tire les valeurs suivantes :

$$\alpha=-0,00125,$$
$$\beta=-4,15,$$
$$\gamma=-0,441;$$

conséquemment

$$m=0,598,$$
$$c=28,35,$$
$$\log K=3,23076;$$

d'où

$$i^{0,598}(t+28,35)=1701,2\ (^1).$$

Calculant une nouvelle table avec ces valeurs de m et de c, on obtient pour les différentes valeurs de K une constance plus satisfaisante.

0,598 log i	log $(t+28,35)$	K	0,598 log i	log $(t+28,35)$	K
1,8239	1,503	3,327	0,9627	2,2085	3,271
1,680	1,583	3,263	0,786	2,388	3,174
1,554	1,684	3,239	0,6817	2,5165	3,198
1,483	1,766	3,249	0,6039	2,6145	3,218
1,417	1,8347	3,251	0,5477	2,6945	3,242
1,3634	1,894	3,257	0,5083	2,762	3,270
1,3096	1,946	3,255	0,4694	2,8204	3,289
1,2617	1,992	3,254	0,3964	2,9182	3,314
1,2139	2,0348	3,248	0,32531	2,9978	3,323
1,20796	2,0544	3,262	0,2481	3,065	3,313
1,1302	2,1084	3,238	0,1668	3,1233	3,290

(1) J'ai donné dans les *Comptes rendus* (10 octobre) des valeurs un peu moins approchées des constantes.

On pourrait appliquer la même méthode aux différences avec la moyenne de trois des valeurs de K les plus différentes entre elles de cette table et obtenir de nouveaux coefficients encore plus approchés et ainsi de suite.

Les résultats obtenus suffisent pour établir que la loi de déperdition lumineuse du sulfure de zinc est exprimée d'une manière satisfaisante par une équation de la forme

$$i^m(t+c)=K.$$

En prenant pour unité l'intensité maxima, on trouve pour le sulfure de zinc ;

$$i^{0,598}(t+28,35)=28,35.$$

Edmond Becquerel est arrivé pour la loi du décroissement de l'intensité lumineuse du sulfure de strontium à une formule analogue

$$i^{0,806}(t+2,83)=2,83.$$

Il a donné le tableau suivant des valeurs de m et de c pour différents sulfures alcalino-terreux :

Corps phosphorescents	Limites des observations	Valeur de m	Valeur de c
	de		
Sulfure de calcium rouge orangé.....	0′ à 1′	0,500	12,40
Sulfure de calcium jaune orangé.....	0′ à 5′	0,806	1,84
Sulfure de calcium lumineux vert.....	5′ à 30′	0,580	21,60
	5′ à 18′	0,700	20,60
Sulfure de calcium lumineux bleu clair.....	7′ à 29′	0,800	9,53
Sulfure de strontium lumineux vert.....	1′25″ à 20′	0,800	6,40
	8′ à 22′	0,800	4,50
	25′ à 80′	0,806	2,83
Sulfure de strontium lumineux bleu violet...	6′ à 10′	0,500	25,00
	2′ à 9′	0,500	28,00
Sulfure de barium lumineux vert.....	1′ à 24′	0,660	4,50

Le savant physicien fait une remarque qui ressort de l'examen de ce tableau : on n'arrive pas aux mêmes nombres pour les valeurs de m et de c dans les diverses déterminations faites avec une même substance. Il explique ce résultat par des variations d'intensité de la source

lumineuse d'une expérience à l'autre et par des erreurs d'observation. La véritable cause de ces divergences pour les sulfures en question me paraît être leur impureté; ce sont des mélanges de corps en des proportions qui varient d'un échantillon à l'autre; la loi d'émission de chacun de ces mélanges dépend nécessairement de la loi d'émission des composants. Je n'ai pas constaté sur le sulfure de zinc (qu'il y a tout lieu de croire pur et d'autant plus phosphorescent qu'il est plus pur) des variations de m et de c. Sur deux échantillons préparés à six mois de distance par deux mains différentes et dans des laboratoires différents, j'ai constaté la même loi de déperdition lumineuse. Nous verrons qu'on peut bien véritablement considérer le sulfure de zinc comme un étalon photométrique secondaire des plus commodes. Il est d'ailleurs inattaquable par l'eau, par l'acide carbonique humide, par l'ammoniaque, par les acides faibles. J'ai conservé pendant des mois dans de l'acide nitrique des agglomérésde sulfure de zinc, et ils n'avaient pas perdu leur capacité de phosphorescence.

9. L'application du photomètre-photoptomètre à la mesure des intensités très faibles n'offre aucune difficulté. Connaissant avec toute la précision possible le temps au bout duquel il y a égalité entre l'éclat de l'écran phosphorescent et l'éclairement de l'écran translucide, on prend l'ordonnée correspondant sur la courbe des observations au temps indiqué par le chronomètre et marqué sur l'abscisse (fig. 2 de la planche AB — BC — CD — DE — EF — FG); on la rapporte à une ordonnée quelconque exprimée en bougie-mètre et on a immédiatement l'éclairement de la source en fractions de bougie-mètre. C'est ainsi que j'ai mesuré les éclairements suivants :

	Bougie-mètre
Pleine lune en Sologne (5 septembre)..	0,272122
Boulevard Saint-Jacques, Paris, en face du n° 36 (12 août, 11 heures du soir)..	0,235504
Lune aux trois quarts pleine en Sologne (1er septembre).....	0,22258
Jardins de l'Observatoire de Paris (12 août, 11,30 h. du soir).....	0,0131394
Points du ciel opposés à la lune en Sologne (août).....	0,0025130

Pour plus de précision dans la mesure des éclairements faibles, il convient de se servir de la courbe construite sur une plus grande échelle : dans la portion reproduite (fig. 3 de la planche GH — HI — IJ), les ordonnées présentent les intensités multpliées par 6 et les abscisses, les temps multipliés par 0,6.

La coloration verdâtre du sulfure, loin de nuire, contribue beaucoup à la précision des observations; car, suivant une loi bien connue, dès que l'écran phosphorescent est moins lumineux que l'écran translucide, il paraît bleuâtre, l'autre jaunâtre.

10. Pour les égalités de teintes qui se produisent avant 1400 secondes, la courbe des observations est immédiatement utilisable ; pour les élairements plus faibles, le plus convenable est d'appliquer une formule asymptotique qui reproduise le plus fidèlement possible les dernières observations et en conséquence offre toutes les garanties d'être vraie beaucoup plus loin.

Dans un mémoire très intéressant sur les lois de déperdition de la phosphorescence [1], M. Henri Becquerel a cherché à déduire des théories moléculaires quelque idée mathématique applicable à la question. Il fait observer que la lueur émise étant le résultat d'un mouvement vibratoire intermoléculaire; on peut considérer l'extinction de cette lueur et, par suite, la diminution d'amplitude du mouvement comme l'effet d'une force amortissante intermoléculaire qui serait à chaque instant fonction de la vitesse de la particule vibrante. Si l'on suppose la force d'amortissement proportionnelle à la vitesse, l'équation différentielle du mouvement vibratoire conduit à l'expression $i = i_0 e^{-at}$, laquelle n'est pas vérifiée par l'expérience, du moins pour des temps un peu longs. Si l'on suppose que la force amortissante est proportionnelle au carré de la vitesse, en désignant par u le déplacement de la particule vibrante, l'équation différentielle du mouvement est

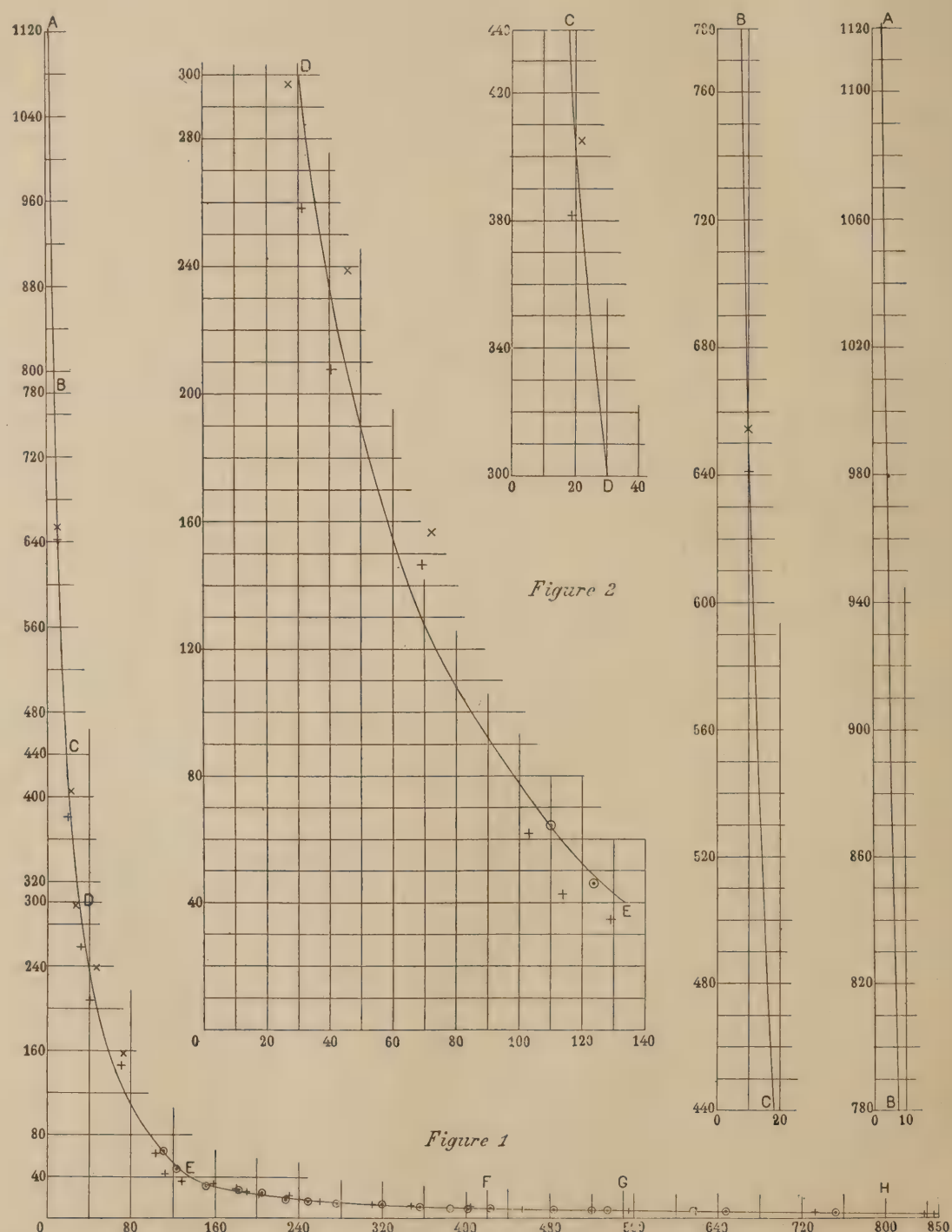
$$\frac{d^2 u}{d t^2} + \mathrm{K}u \pm \gamma \left(\frac{du}{d t}\right)^2 = 0 \qquad (1)$$

Si dans cette équation on considère le signe + comme correspondant à la période de gauche à droite, et si on adopte pour inconnue la force vive

$$y = \left(\frac{du}{d t}\right)^2, \qquad (2)$$

[1] *Comptes rendus*, 9 novembre 1891.

COURBES DE DÉPERDITION LUMINEUSE



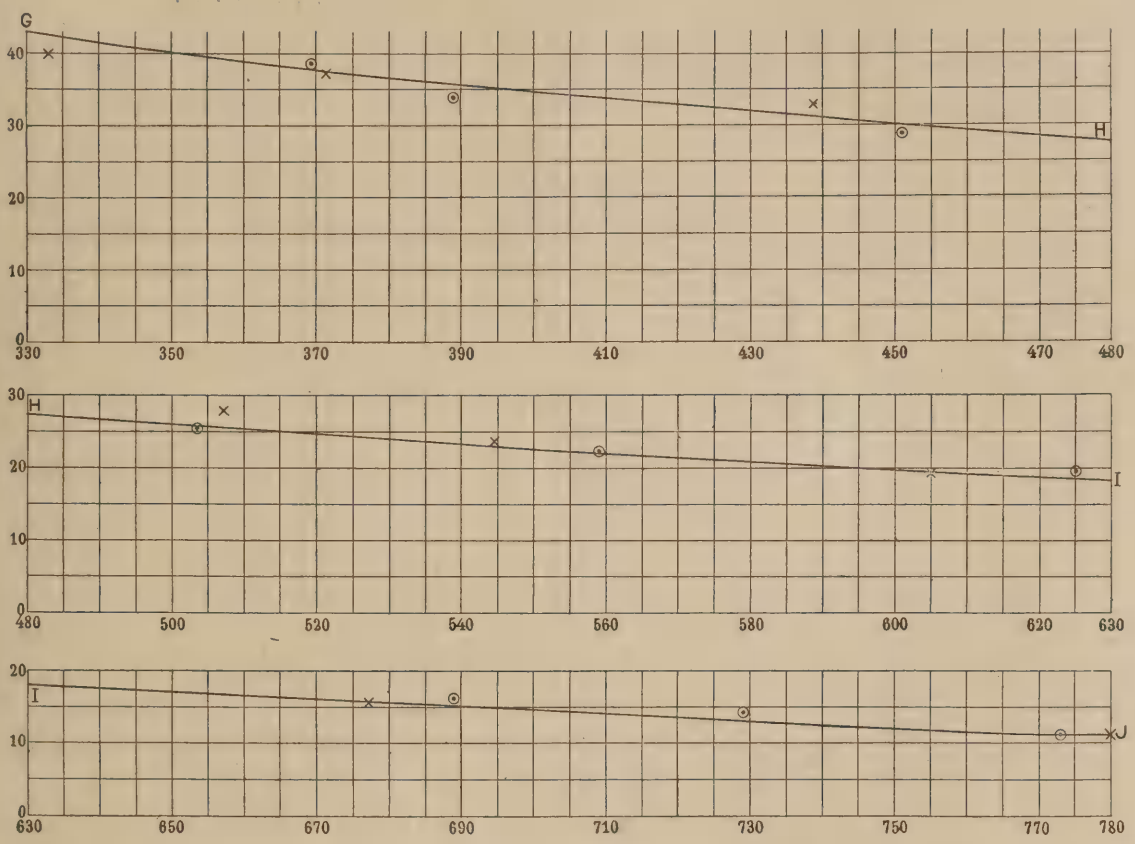


Figure 3

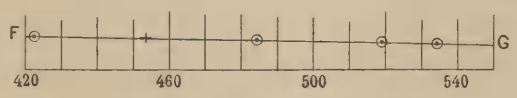


Figure 2

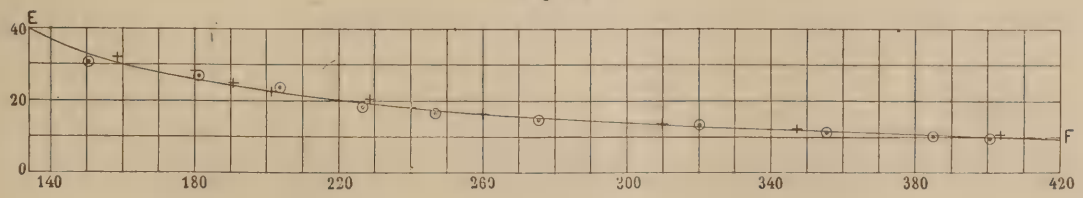


Figure 1

en la prenant comme fonction non de t, mais de u, on a, en différentiant (2) par rapport au temps

$$\frac{dy}{du} = 2\frac{d^2u}{dt^2},$$

d'où, en substituant dans (1), il vient, en ne prenant que le signe +,

$$\frac{1}{2}\frac{dy}{du} + Ku + \gamma y = 0,$$

équation du premier ordre et du premier degré à laquelle on satisfait par

$$y = Ce^{-2\gamma u} + \frac{K}{2\gamma^2}(1 - 2\gamma u)$$

Aux deux points extrêmes de l'oscillation, la vitesse et par conséquent la force vive est nulle. Appelant u_0 l'écart compté de droite à gauche, et u_1 l'écart compté de gauche à droite, on a

$$C + \frac{K}{2\gamma^2}e^{2\gamma u_0}(1 - 2\gamma u_0) = 0,$$
$$C + \frac{K}{2\gamma^2}e^{2\gamma u_1}(1 - 2\gamma u_1) = 0,$$

d'où, retranchant membre à membre,

$$e^{2\gamma u_0}(1 - 2\gamma u_0) = e^{2\gamma u_1}(1 - 2\gamma u_1)$$

ou, en développant l'exponentielle en série et en s'arrêtant au troisième terme (ce que l'on peut faire, puisque u_0 est très petit), puis en divisant par $2\gamma^2$:

$$-u_0^2 - \frac{4}{3}\gamma u_0^3 = u_1^2 - \frac{4}{3}\gamma u_1^3.$$

Désignant par v les valeurs absolues des écarts, on a, u_1 étant positif, $u_1 = v_1$; u_0 étant négatif, on a $u_0 = -v_0$: en sorte que l'équation précédente devient

$$-v_0^2 + \frac{4}{3}\gamma v_0^3 = v_1^2 - \frac{4}{3}\gamma v_1^3,$$

ou

$$v_0^2 - v_1^2 = \frac{4}{3}\gamma(v_0^3 + v_1^3)$$

et en divisant par $v_0 + v_1$

$$v_0 - v_1 = \frac{4}{3}\gamma(v_0^2 - v_0 v_1 + v_1^2);$$

et comme, v_0 et v_1 étant très peu différents, on peut remplacer v_0^2 et v_1^2 par $v_0 v_1$, on a

$$v_0 - v_1 = \frac{4}{3}\gamma v_0 v_1,$$

ou

$$\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_0} = \frac{4}{3}\gamma;$$

de même

$$\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1} = \frac{4}{3}\gamma$$
$$\cdots\cdots\cdots$$
$$\frac{1}{v_n} - \frac{1}{v_{n-1}} = \frac{4}{3}\gamma.$$

Ajoutant membre à membre ces n égalités, on a

$$\frac{1}{v_n} - \frac{1}{v_0} = \frac{4}{3}n\gamma.$$

Or n est proportionnel au temps écoulé : on peut donc écrire

$$\frac{1}{v_n} - \frac{1}{v_0} = mt,$$

ou

$$v_n = \frac{v_0}{1 + mtv_0} = \frac{1}{a + bt}$$

Mais, comme la différence entre deux oscillations consécutives est très petite, on peut mesurer la force vive moyenne par l'amplitude, et comme l'amplitude est proportionnelle à la racine carrée de l'intensité, on a

$$\sqrt{i} = \frac{1}{a + bt},$$

ce que l'on peut mettre sous la forme $i^{\frac{1}{2}}(c + t) = c\,i_0^{\frac{1}{2}}$.

J'ai été conduit par ces déductions théoriques à adopter pour m la valeur $\frac{1}{2}$, et à trouver pour les intensités de 900 à 1400 secondes la formule suivante

$$t^{0,5}(t - 18,5) = K. \tag{3}$$

Posons $t = 966$; $t' = 1133,3$; $t'' = 1300$. On a, par application de la formule précédente, pour la valeur moyenne de log K = 3,249889; la somme des différences de la plus grande valeur par rapport aux deux autres est 0,0113837. Si on adopte pour c la valeur 19, on a pour la somme en question le nombre un peu plus grand 0,0113918; si on adopte pour c la valeur 18, on a pour la somme en question le nombre 0,0133. Donc la valeur $c = 18,5$ détermine la meilleure constance. Cherchons d'ailleurs en appliquant la formule (3) à déterminer les intensités aux temps 1200 et 1000; on trouve pour ces intensités respectives 2,26 et 3,28; les valeurs observées sont 2,3 et 3,3.

C'est par application de la formule (3) que j'ai déterminé la lumière diffuse des étoiles le 22 août

1892, et j'ai trouvé le nombre 0,00057047254, c'est-à-dire que par ce ciel très clair et très sillonné d'étoiles filantes, les étoiles éclairaient l'écran translucide comme une bougie le ferait à une distance d'environ 41 mètres.

11. Les applications photoptométriques de l'instrument sont maintenant faciles.

S'il s'agit de mesurer la sensibilité de l'œil par l'inverse du minimum perceptible après un séjour d'une durée connue dans l'obscurité, ou après exposition de cet œil à un éclairage de réfrangibilité et d'intensité déterminées, en général, dans des conditions bien précises, on met par des bouchons aux deux extrémités l'appareil à l'abri de toute lumière extérieure; on dévisse le tube antérieur, on enserre dans la bague le nombre de verres dépolis convenable suivant la petitesse présumée de l'éclairage à mesurer; on sépare le tube postérieur du tube antérieur : on allume le ruban de magnésium, on note le temps au moment de l'extinction; on replace le tube postérieur contre le tube antérieur; on adapte l'œil à l'éclairage voulu ou à l'obscurité; on note le temps au bout duquel on constate l'apparition d'une lueur dans le photomètre.

Si α, α' désignent les coefficients d'absorption des verres pour la lumière dans son parcours du magnésium à l'écran phosphorescent, α désignant les coefficients d'absorption de chaque verre par rapport au précédent, α' désignant le coefficient d'absorption du premier; si β, β' désignent les coefficients d'absorption des verres pour la lumière dans son parcours de l'écran phosphorescent à l'œil, β désignant les coefficients de chaque verre par rapport au précédent, β' désignant le coefficient d'absorption du premier, n étant le nombre des verres moins un, on a, pour le coefficient d'absorption totale de la lumière, la valeur $i = i_0\, \alpha'\, \beta'\, \alpha''\, \beta''$. Sachant la fraction constante des ordonnées qu'il convient d'adopter en vertu de l'absorption des n verres, on a immédiatement en bougie-mètre l'éclairement égal à l'éclat de la lueur.

Si le temps est plus grand que 1400 secondes, il suffit d'extrapoler la formule (3).

12. On détermine les coefficients α' et α des verres dépolis en notant les temps au bout desquels on constate l'égalité d'éclat de l'écran phosphorescent avec l'éclairement de l'écran translucide à une certaine distance d'une bougie après interposition de ces verres entre l'écran phosphorescent et le magnésium allumé, en ayant soin de retirer ces verres immédiatement après l'illumination. Soient i_0, i_1, i_2, i_3, i_4,... i_n, les intensités maxima de l'écran phosphorescent, la lumière ayant été absorbée par 0, 1, 2, 3, 4,... n verres. t, t_1, t_2, t_3, t_4,... t_n, les temps au bout desquels on constate les égalités respectives de ces intensités avec un même éclairement de l'écran translucide; puisque la loi de déperdition du sulfure de zinc est la même, quelle que soit dans les limites indiquées l'intensité maxima, on voit que les intensités maxima respectives i_1, i_2, i_3, i_4..., i_n, sont égales aux valeurs que prendrait l'intensité i_0 au bout de temps $t_0 - t_n$.

On peut obtenir les rapports $\frac{i_1}{i_0}, \frac{i_2}{i_1}, \frac{i_3}{i_2}, \ldots \frac{i_n}{i_{n-1}}$, en appliquant la formule évidente

$$\left(\frac{i_0}{i_n}\right)^m = \frac{t_0 - t_n + c}{c},$$

ou, mieux encore, en recourant à la courbe.

Le rapport $\frac{i_1}{i_0}$ a été trouvé plus faible ($\alpha' = 0{,}75$) que les rapports $\frac{i_2}{i_1}, \frac{i_3}{i_2}, \frac{i_4}{i_3}$, qui ont été obtenus sensiblement constants, ($\alpha = 0{,}915$; $0{,}928$; $0{,}920$) conformément à la théorie classique.

Jamin avait trouvé $\frac{i_1}{i_0}$ un peu plus fort que les suivants comme on le voit par le tableau ci-dessous [1] :

Nombre des verres jaunes	Proportion transmise	α^e
1	α^e 0,497	0,497
2	α^{2e} 0,2097	0,458
3	α^{3e} 0,0940	0,455

Pour la détermination des coefficients β' et β, on note le temps au bout duquel on constate, dans le cas de l'absorption, égalité d'éclairement de l'écran translucide avec le sulfure; si on divise l'ordonnée correspondant à ce temps par l'ordonnée correspondant au temps au bout duquel il y a égalité d'éclairement avec le sulfure pour l'écran translucide sans addition de verre, on a le coefficient d'absorption du verre. Pour plus de précision, on n'utilise la courbe qu'après dix secondes par exemple; on ajoute donc cette constante aux deux temps observés.

[1] *Cours de Physique de l'École polytechnique*, par Jamin et Bouty, t. III, fascicule III, p. 67.

C'est par cette méthode, en ayant soin de choisir une unité d'intensité très faible, comparable à l'éclat du sulfure et en ajoutant successivement un, deux, etc. verres à l'écran translucide, que β et β' ont été trouvés sensiblement identiques, ($\beta' = 0,71$; $\beta = 0,70$), mais plus faibles que α' et α. Ce résultat est conforme à ceux de Jamin.

CHARLES HENRY.

(*A suivre*).

LES LAMPES A INCANDESCENCE [1]

M. R. Langhans a récemment proposé de remplacer les attaches de platine par des attaches en alliages de fer, de nickel et d'antimoine platinés, et ayant à très peu près le même coeffi-

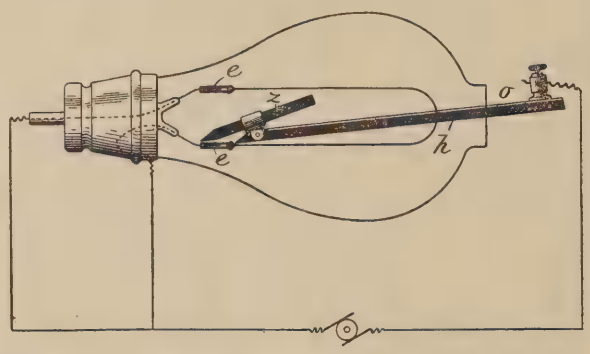


Fig. 1. — Frey (1892). Remplacement des filaments.

cient de dilatation que le platine et le verre. Les coefficients de dilatation sont, d'après Matthiesen, de 0 à 100°.

Pour le verre.....	0,0000087
— le platine.....	0,0000088
— le fer.....	0,0000118
— le nickel.....	0,0000128
— l'antimoine.....	0,0000108.

d'où il suit, qu'en formant un alliage de fer et de nickel avec suffisamment d'antimoine, on peut espérer abaisser le coefficient de dilatation de cet alliage aux environs de celui de l'antimoine et du verre suffisamment pour éviter les craquelures, tout en conservant au fil assez de solidité. La couverture en platine se fait ensuite en étirant au banc des fils enveloppés d'une feuille de platine; puis on chauffe le fil ainsi obtenu dans une atmosphère d'hydrocarbone, par le passage d'un courant électrique, de manière à opérer la soudure du platine. L'attache du filament s'opère

Fig. 2. — Smith (1892). Lampe à culot fusible.

en plongeant les bouts des fils dans de l'eau régale, qui ne dissout que l'intérieur du fil, en laissant intacts deux petits fourneaux de platine

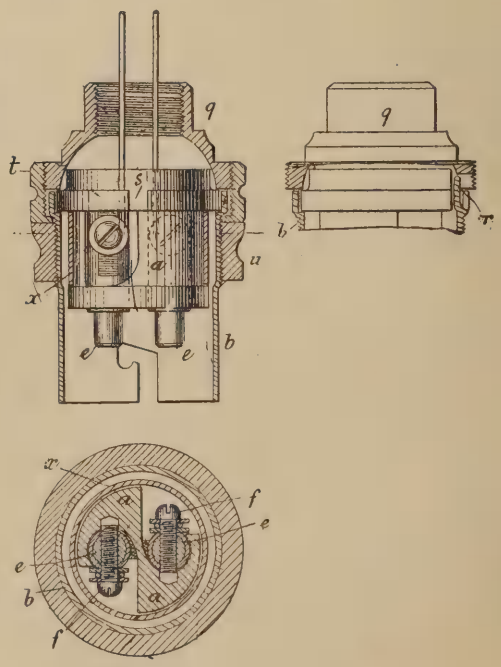


Fig. 3 à 5. — Monture Evered (1892).

que l'on aplatit sur les extrémités du filament. Les attaches ainsi fabriquées coûteraient, d'après M. Langhans, à peine le tiers du prix des attaches en platine ordinaire.

M. Bamberg pense être arrivé à construire

[1] *La Lumière Electrique* du 3 décembre 1892, p. 468.

pratiquement de la manière suivante un filament capable de supporter sans se brûler l'incandescence en plein air.

On plonge d'abord un filament de carbone un peu plus gros qu'à l'ordinaire dans une dissolution concentrée de silicate de soude, puis, après l'avoir séché, on l'enserre dans une couche compacte de chaux vive mélangée d'un peu d'alumine, et on le porte au rouge par l'électricité; d'après M. Bamberg, le silicate de soude fondrait en s'incorporant assez de chaux et d'alumine pour constituer autour du fil une enveloppe étanche infusible et souple. Il faut avoir soin d'envoyer, puis de supprimer le courant graduellement, de façon qu'il soit tout à fait refroidi quand on le retire de la chaux, puis on

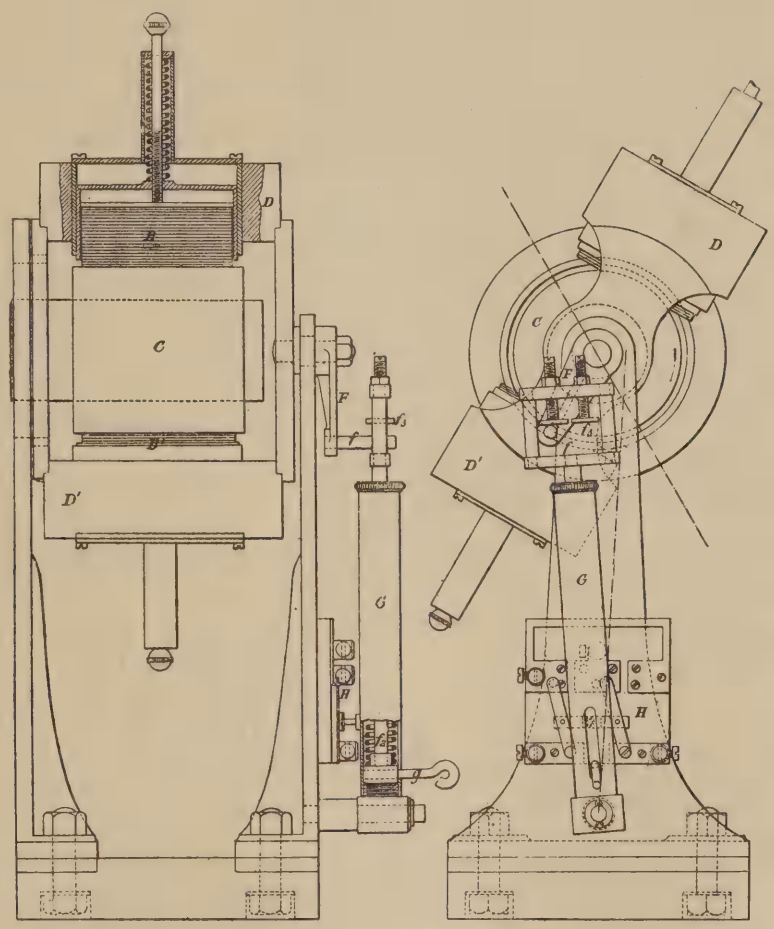


Fig. 6 et 7. — Réglage Houghton et White. Éclairage des trains (1892).

répète plusieurs fois l'opération, de manière à entourner jusqu'à l'épaisseur voulue le filament d'une série de couches adhérentes emboîtées l'une dans l'autre.

On peut aussi remplacer la chaux par du silicium amorphe, préalablement chauffé à blanc à l'abri de l'air, ce qui le rend inoxydable. On pourrait même, comme ce silicium est conducteur, en constituer le filament tout entier, s'il n'était extrêmement fragile.

Quant aux extrémités du filament, qui restent dénudées, on les renforce par un dépôt de carbone qui permet de les relier facilement aux attaches; et ces dernieres, qui ne sont plus hermétiquement scellées au verre, n'ont pas besoin d'être en platine.

Le problème étudié par M. Bamberg a déjà provoqué, sans succès pratique, de nombreuses solutions analogues; nous ne pouvons que souhaiter le succès de celle de M. Bamberg, qui

ne tardera certainement pas à faire beaucoup parler d'elle si elle répond aux espérances de son inventeur.

M. Frey opère le renouvellement des filaments en leur cimentant au charbon des capsules de platine *e e* (fig. 1), qu'il soude ensuite aux attaches par un arc jaillissant du crayon de carbone *z*, manié au moyen de la plaquette de caoutchouc *h*, lamée en *o*.

M. F.-S. Smith (fig. 2) a récemment proposé de former le culot D de la lampe en un silicate de soude spécial soluble dans l'eau chaude, se soudant facilement au verre, et permettant l'emploi d'attaches en fer. Parmi les formules de silicate ayant fourni les meilleurs résultats, M. Smith

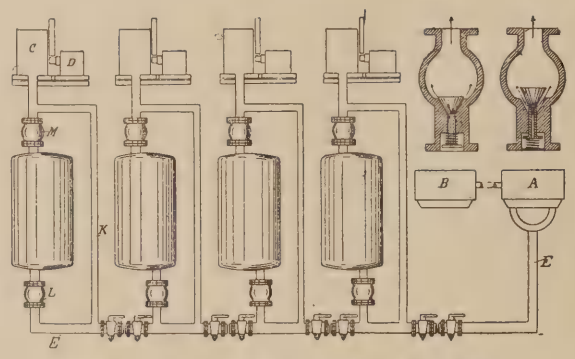


Fig. 8. — Éclairage des trains Korner (1892).

cite les suivantes : $Na^2O,5\,SiO^2$, $2\,Na^2O,5\,SiO^2$, $2\,Na^2O,7\,SiO^2$, $4\,Na^2O,5\,SiO^2$, d'autant plus riches en silicium que le verre de la lampe est moins fusible, et auxquels on peut ajouter un peu d'acide borique. On peut aussi constituer en matière soluble la tête *a* du globe de la lampe, ce qui permet de renouveler le filament sans dissoudre le culot.

La monture très robuste des lampes de *M. Evered* est, en outre, parfaitement isolée. Son bloc en porcelaine *a* est découpé (fig. 3 à 5) de manière à séparer complètement les bornes *e e*, puis, en outre, enveloppé, après la prise des fils en *f f*, par une douille isolante fendue *a*. Des encoches *s*, à pattes *r*, empêchent le bloc *a* et *q* de tourner dans et sur *b*, auquel *q* est fixé par écrou et contre-écrou *t* et *u*.

Les figures 6 et 7 représentent le réglage très ingénieux récemment proposé par *MM. Houghton et White* pour les dynamos servant à l'éclairage des trains, et qui sont, comme le savent nos lecteurs, actionnées par l'un des essieux du fourgon [1], de sorte qu'il faut parer à la fois aux variations de la vitesse et aux renversements de marche du train.

A cet effet, les balais B B′ de la dynamo, constitués par des piles de toile métallique appuyées au moyen de ressorts sur le collecteur C, sont montés sur un cadre D D′, pivotant autour de l'axe *c*, qu'il entraîne avec lui. Quand la dynamo tourne dans le sens de la flèche (fig. 7), le frottement des balais les entraîne dans l'orientation indiquée, où ils restent fixés par la résistance qu'exerce sur la manivelle F la tige à ressort f^2 ; et, comme cette résistance dépend de la position que prend le bras *g*, soumis à un régulateur à force centrifuge actionné aussi par l'essieu du fourgon, il s'ensuit que le décalage des balais se règle automatiquement en fonction de la vitesse de la dynamo.

Quand la rotation de la dynamo change de sens avec la marche du train, l'inclinaison des balais change aussi de sens, et la manivelle F, faisant contact avec f_3, fait osciller le ressort G de manière à renverser en même temps les connexions par le commutateur H, de sorte que le sens du courant ne change pas dans le circuit malgré le renversement de la dynamo. En outre, le réglage des lampes peut être complété par l'addition de rhéostats automatiques analogues à ceux décrits à la page 115, de notre numéro du 21 janvier dernier.

Reprenant une idée déjà émise par MM. Preece et James [2], *M. Korner* a récemment proposé d'alimenter l'éclairage par des dynamos D (fig. 8) placées dans chacune des voitures et mis en marche par des moteurs C, recevant leur puissance d'une canalisation d'air comprimé par une pompe de la locomotive, qui pourrait être celle même du frein continu. La canalisation générale E F serait doublée, sous chaque voiture, d'un réservoir accumulateur d'air comprimé G, pourvu de deux soupapes L et M : l'une, L, tendant à se fermer, l'autre, M, à s'ouvrir par son ressort. Tant que la pression en G est inférieure à celle de la conduite, M, équilibrée par la pression de l'air dans le branchement K, ferme le réservoir qui se remplit d'air comprimé par L ; mais, dès que la pression baisse en K, cet air

(1) *La Lumière Electrique*, 9 fév. 1885, p. 256 ; 12 avril 1890, p. 71 ; 28 fév. 1891, p. 421.

(2) *La Lumière Electrique*, 7 juin 1884, p. 376.

s'échappe au contraire, par M, pour alimenter le moteur.

La lampe portative de *M. Gover*, représentée par les schémas 1 à 9 groupés en figure 9, se distingue par quelques particularités intéressantes. Les gaz dégagés par les accumulateurs B B s'évacuent par les ouvertures E_2, après avoir soulevé les pistons F malgré leurs ressorts, de manière à découvrir les trous E_2, ou repoussé les garnitures en caoutchouc U (sch. 7).

Les connexions s'établissent à l'aide de fiches I, par les contacts H_1 H_2 H_3 (sch. 6) de la manière suivante. Il suffit, h' étant (fig. 9) relié à la borne N_1 de la lampe et au pôle +, tandis que h_3 l'est au pôle — seulement, et h_2 à la borne N_2, d'enfoncer, pour allumer, la lampe la flèche, I à bout isolé D de manière à relier, comme en figure 4, h_2 avec h_3.

Le chargement des piles se fait (sch. 3) par deux fiches I, I', reliées respectivement aux bornes de la dynamo, et, par H_1 et H_3, à celles de l'accumulateur, la lampe restant coupée du circuit en H_2.

Pour remplir les accumulateurs, on enlève le

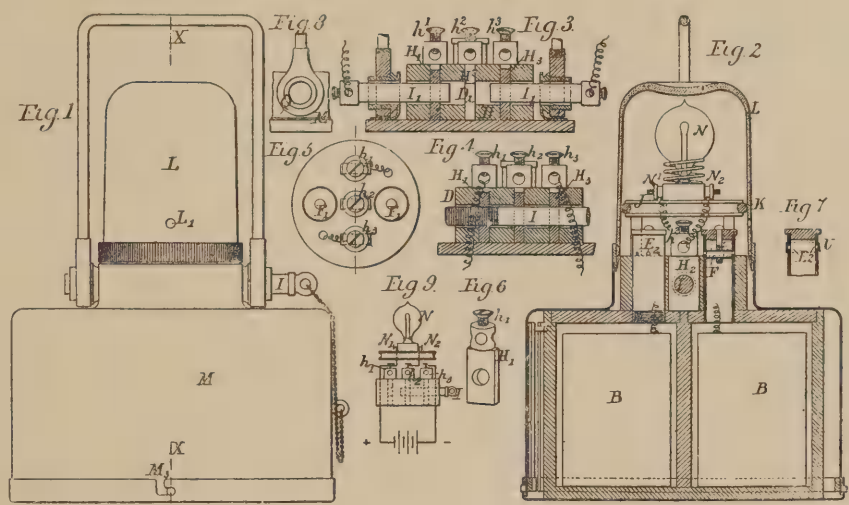


Fig. 9 (1 à 9). — Lampe portative Grover (1892).

globe L avec l'enveloppe en tôle M, en défaisant le joint à bayonnette M_5, puis le plateau J, à garniture de caoutchouc K, avec sa lampe N.

ÉCLAIRAGES DE TRAINS

DÉCRITS DANS MES PRÉCÉDENTS ARTICLES

Cannstatt-Eslingen, 20 fév. 1886, p. 337. Electric Car Heating C°, 23 juin 1892, 610. Chicago-Saint-Paul, 21 fév. 1891, 368. Chicago-Millwauke, 10 mars 1891, 263. Holmes, 21 fév. 1891, 373. Hollins, 28 fév. 1891, 425. Jenkin, 21 fév. 1891, 375. Kabath, 14 juin 1884. 416. Langdon, 21 fév. 1891, 423. Léonard, 2 déc. 1892, 472. Preece et James, 7 juin 1884, 376, et Sagers, 28 fév. 1891, 422. Rogers, 7 juin 1884, 374 Starr, 7, 14 juin 1884, 374, 412, 415. Stroudley et Houghton, 9 fév. 1884, 207; 28 fév 1891, 422. Stern et Billingsby. 14 juin 1884, 411. Smith, 21 fév. 1891, 372.

LAMPES A INCANDESCENCE

DÉCRITES DANS MES PRÉCÉDENTS ARTICLES

Akester, 9 avril 1885, 217. Allan, 15 oct. 1891, 303. Arnoldt, 10 mai 1890, 264.

Bailey, 20 oct. 1888, 113; 30 août 1890, 421. Baillard, 25 juin 1892, 606. Ball, 17 sept. 1892, 554. Barnes 25 juin 1892, 607. Baxter, 25 juin 1892, 608. Bardonant et Jupont, 16 mai 1891, 327; 25 juin 1892, 604. Berlyn, 27 fév. 1892, 416. Benson, 30 août 1890, 422. Bernstein, 12 nov. 1889, 311; 30 août 1890, 421. Bohn, 6 juil. 1889, 14; 17 sept. 1892, 554. Bowron et Hibbert, 9 août 1884, 215. Bristol, 12 nov. 1889, 311; 25 juin 1892, 608. Burnett et Doane, 17 sept 1892, 553.

Carey, 25 juin 1892, 605. Chapman, 25 juin 1892, 605. Charnock, 27 fév. 1892, 413. Clift, 25 juin 1892, 607. Cood, 6 juil. 1889, 13. Collier, 16 mai 1891, 326. Crigal et Barkley, 7 nov. 1891, 266. Crookes, 9 août 1884, 215, 222. Cruto, 1 oct. 1887, 14; 18 nov. 1891, 447.

Dick et Kennedy et Mac Lean, 1er oct. 1889, 18; 7 nov. 1891, 262 Diehl, 29 mai 1886, 387. Donovan, 30 oct. 1892, 422. Dorman et Smith, 20 oct. 1888, 189; 27 fév. 1892, 414. Dornfield, 27 déc. 1884, 84, 404. Doubrava. 10 mai 1890, 268. Doyle, 16 mai 1891, 324. Drummond, 10 mal 1890, 267. Dunand, 25 juin 1892, 608.

Edison, 9 août 1884, 216; 7 nov. 1891, 260; 7 sept., 3 déc. 1892, 554, 468. Edmunds, 9 août 1884, 222. Edmundson et Clark, 16 mai 1891, 321. Engledue, 25 juin 1892, 609.

Farquhar et Doulton, 30 août 1890, 423. Ferranti, 29 mai 1886, 390. Fleeming, 12 sept. 1888, 486. Ford, 3 déc. 1892,

469. Fryer, 27 fév. 1892, 414. Frenot et Nouvelle, 3 déc. 1892, 471.

Gardner, 9 août 1883, 219: 21 déc. 1884, 491-493, Garrinsky, 6 juil. 1889, 11 Grayle, 6 sept. 1884, 364. Gimé, 18 sept. 1886, 537. Gimmingham, 29 mai 1886, 537; 7 nov. 1891, 266; 27 fév. 1892, 415. Goldberg et Fyfe, 29 déc. 1884, 493 Goldkind, 17 sept. 1892, 553. Green, 27 fév., 17 sept. 1892, 416, 553 Greenfield et Kintner, 27 fév., 25 juin 1892, 415, 610. Grivolas, 6 juil. 1889, 11. Grundy, 3 déc. 1892, 471 Guest, 9 août 1884, 218.

Hall, 3 déc, 1892, 471. Harvie, 8 août 1885, 266. Heisler, 6 juil. 1889, 13. Heintz, 22 oct. 1888, 110. Holby, 16 mai, 1891, 322. Holmes, 20 oct. 1888, 108. Holzer, 12 sept. 1888, 417.

Jackson et Dunan, 29 mai 1888, 291. Johnson, 20 oct. 1888, 109. Johnson, 29 mai 1886, 390.

Kelway, 3 déc. 1892, 473. Kean, 17 sept. 1892, 556, Kennedy, 6 juil. 1889, 13. Khotinsky, 12 sept. 1885, 486; 12 déc. 1892, 468. Klein et Bergmann, 3 déc. 1892, 469. Knowles, 9 août 1884, 223.

Langhans, 16 mai 1891, 321. Lee, 18 sept. 1886, 536; 17 sept 1892, 555. Lodiguine, 23 nov. 1889, 379. Lonholdt, 20 oct 1888, 111.

Mac Elroy, 3 déc. 1892, 471. Mac Groch, 25 juin 1892 606. Mac Caudling, 16 mai 1891, 326. Mac Ouat, 3 déc. 1892, 469. Macé, 10 mai 1890, 262; 27 fév. 1892, 414. Martin et Hunter, 3 déc. 1892, 473. Maxim, 27 déc 1884, 495. Maxwell, 20 oct. 1888, 110. Michel, 6 juil. 1889, 12. Mining Lamp C°, 16 mai 1891, 326 Mohrle, 7 nov. 1891, 266. Moore, 16 mai 1891, 326. Moses, 27 déc. 1884, 492 Munro, 7 nov. 1891; 25 juin 1892, 265, 609. Mussbaum, 29 mai 1886, 388.

Nichols, 16 mai 1891, 325. Nickerson et Barnberg, 15 août 1891, 305. New, 3 déc. 1892, 472.

Olroydt, 20 oct. 1888, 111. Oudin et Boussac, 15 août 1891, 304.

Parfitt, 17 sept. 1892, 555, Pieper, 29 mai 1886, 368. Piffard, 25 juin 1892, 606. Pinter, 3 déc. 1892, 469

Rawson, 30 août 1889, 423. Rees, 16 mai 1891, 322. Rockwell, 17 sept. 1892, 552. Roussy, 20 mai 1886, 388.

Schanschieff, 20 oct. 1888, 113; 7 nov. 1891, 261. Savage, 27 février 1892, 415. Scharf et Latzko, 7 nov. 1891, 261. Schirner, 16 mai 1891, 333. Seel, 20 oct. 1888, 110 Settle, 20 oct. 1888, 112. Sellon, 8 août, 12 sept. 1885, 265, 485. Serrailles et Armstrong, 30 août 1890, 426. Shoeffer, 29 mai, 18 sept. 1886, 389, 535. Siemens, 27 déc. 1884, 495; 25 juin 1892, 604. Slatter, 30 août 1890, 426. Sloan, 10 mai 1890, 267. Smith, 9 août 1884, 222. Sornoff, 27 fév. 1892, 416. South, 7 nov. 1891, 265. Stieringer, 1er oct. 1887, 18. Swan. 9 août 1884, 216, 221; 8 août 1885, 265; 29 mai 1886, 386; 1er oct. 1887, 19; 20 oct. 1888, 113; 10 mai 1890, 363; 15 août 1891, 303. Swinburne, 1er oct. 1887, 15.

Tesla, 15 août 1891, 301 Tibbits, 23 nov. 1889, 379. Thomson (E.). 1er oct. 1887, 17; 3 déc. 1892, 470. Thomson (S.-W.), 8 août 1885, 264. Thompson, 10 mai 1890, 364. Trippe, 23 juin 1892, 604. Turnbull, 20 oct. 1888, 379.

Van Choate, 12 nov. 1889, 308; 30 août 1889, 420. Voight et Standt, 7 nov. 1891, 265.

Walter, 7 nov. 1891, 261. Watson, 7 nov. 1891, 263. Weaven, 17 sept. 1892, 554. Weber, 6 juil. 1889, 15. Westinghouse. 10 mai 1890, 267. Weston, 29 mai 1886, 368; 3 déc. 1892, 470. White, 27 déc. 1884, 497; 10 mai 1890, 265; 16 mai 1892, 323-324. Woodhouse, 27 déc. 1884, 497. Wyckoff, 15 août 1891, 304.

Zeller, 30 août 1890, 390.

GUSTAVE RICHARD.

PRÉPARATION DE LA GUTTA-PERCHA [1]

Calandre.

On ne peut pas abandonner la gutta au refroidissement sous la forme de pains qu'elle prendrait si au sortir du filtre on l'abandonnait à elle-même. Cette remarque s'applique également à la gutta qui vient de subir les opérations que nous décrirons dans un instant. Sous cette forme, en effet, elle demanderait un temps trop considérable pour être ramollie par l'eau chaude, et comme ce ramollissement est une opération absolument commune, qu'elle précède toute mise en œuvre de la gutta, nous devons tout faire pour la faciliter.

Aussi toutes les fois que de la gutta doit être abandonnée au refroidissement, soit parce que la journée est finie et qu'on ne peut terminer le nettoyage de toute la quantité mise en œuvre, soit parce que le nettoyage est fini et que la gutta va rentrer en magasin, on lamine les pains de façon à les réduire en feuilles de 10 à 12 millimètres d'épaisseur, de 75 centimètres de large et d'une longueur qui varie suivant le poids du bloc laminé, généralement 3 à 4 mètres.

Cette opération se fait au moyen de la calandre [2]. Les rouleaux de cet appareil ne sont pas chauffés; on les mouille avant de leur présenter le pain de gutta, et on continue à les mouiller pendant tout le temps que dure l'opération. La feuille est reçue sur la toile sans fin, où on l'abandonne pendant le temps nécessaire à son refroidissement. Quand elle est froide et devenue très ferme, on la coupe transversalement tous les 80 centimètres. On a ainsi des rectangles de 75 à 80 centimètres de côté, pesant environ 8 kilogrammes, qu'il est facile de manier et d'empiler. Comme leur épaisseur est

[1] *La Lumière Electrique* du 21 janvier 1892, p. 101.
[2] *La Lumière Électrique*, 1892, n° 45 (fig. 9).

assez faible, le ramollissement par l'eau bouillante est aisé.

Truman.

Le truman, ainsi dénommé du nom de son inventeur, est un appareil destiné à pétrir la gutta au contact de l'eau chaude pour que celle-ci en enlève les impuretés de la même façon qu'on sépare l'amidon du gluten en malaxant la pâte au contact de l'eau.

Le truman se compose d'une caisse rectangulaire d'environ 1,30 m. de large, 1 mètre de profondeur et 0,60 m. de largeur, pourvue à la partie inférieure d'une soupape pour l'écoulement de l'eau, d'un barbotteur pour le chauffage et d'une prise d'eau froide pour le remplissage et pour l'aspersion du bloc de gutta, qu'on refroidit ainsi superficiellement, pour pouvoir l'enlever.

Complètement baigné dans l'eau bouillante, et occupant toute la longueur de la caisse, se trouve un corps cylindrique creux, en fonte, pourvu de trous à la partie inférieure et muni à la partie supérieure d'un couvercle à charnière et à verrou ayant deux orifices en forme de cheminée.

A l'intérieur du corps cylindrique dont nous venons de parler tourne un système de trois rouleaux en fonte très lisses et tournant librement autour de leurs axes respectifs, car ils sont articulés à pivot et crapaudine avec les flasques qui supportent leurs extrémités. Le mouvement des rouleaux est relié à la commande générale de l'usine par un embrayage à friction, car l'arrêt doit être très précis. Il faut, lorsqu'on a ouvert le couvercle du cylindre, arrêter le mouvement des rouleaux au moment précis où le pain de gutta vient d'abandonner le rouleau qui va se présenter à l'orifice, sinon le pain est repris par le même rouleau après qu'il a franchi l'orifice, et alors il disparaît jusqu'à son nouveau passage devant l'ouverture.

La charge d'un truman est de 27 à 28 kilogrammes, et il ne faut pas s'éloigner de ces poids si on veut que la gutta *tourne*, c'est-à-dire voir ses surfaces se renouveler sans cesse par le jeu de l'appareil. Dans le cas contraire, on dit que la gutta ne *tourne pas*, c'est-à-dire qu'elle s'attache aux rouleaux et qu'elle tourne en masse sans que les surfaces soient renouvelées; elle ne se nettoie pas par conséquent.

Pour charger un truman on vide l'eau jusqu'à la hauteur de l'axe commun des rouleaux. Le couvercle du cylindre étant ouvert on y précipite le pain de gutta et on donne une demi-rotation au système de rouleaux, puis on arrête pour fermer le couvercle au verrou, et cela fait on met en marche en embrayant à fond. On remplit d'eau jusqu'à ce que le couvercle et ses cheminées soient complètement noyés, on ouvre la vapeur et on ferme le couvercle de la caisse.

L'opération dure deux heures. Suivant la qualité de la gutta qu'on traite il faut renouveler l'eau pendant la première heure ou bien on peut s'en abstenir.

Pour décharger le truman, on vide l'eau, toujours jusqu'au niveau de l'axe; on arrête le mouvement quand le bloc de gutta est au fond, on ouvre le couvercle, on remet en route jusqu'à ce que le bloc soit complètement dégagé des rouleaux, et on arrête à ce moment précis, comme nous l'avons dit. Les hommes arrosent alors la gutta d'eau froide, et dès qu'ils peuvent la saisir avec leurs mains gantées, ils l'enlèvent d'un effort et la posent sur une civière pour la porter au sécheur.

Le truman est un excellent appareil quand la gutta tourne bien et est de bonne qualité; il y laisse moins de 1 o/o d'impuretés; mais la grande difficulté, c'est que les guttas de très bonne qualité, comme les Pahang, Bolungan, Coti, Bagan, etc., ne tournent pas, de même que les très mauvaises Bouhâ Balam et sortes inférieures de gutta blanches. On doit composer des mélanges spéciaux quand on se sert du truman, et on peut dire qu'une gutta qui sort propre du truman est un bon mélange, car dès qu'on dépasse 30 o/o en guttas inférieures, le mélange ne peut y être nettoyé.

Inversement de ce que nous avons dit à propos du procédé de la pile et de celui du déchiqueteur, nous ferons remarquer que les guttas nettoyées au truman ont toujours des isolements bien plus élevés que les mêmes sortes lavées à la pile ou au déchiqueteur, et cette différence est très marquée; nous l'avons vu atteindre le rapport de 1 à 4.

Nous avouons ne comprendre qu'imparfaitement les raisons qui ont guidé les usines Rattier dans les perfectionnements qu'elles ont apporté au truman. L'idée de canneler les rou-

leaux ne nous paraît pas heureuse si le truman est destiné à laver. Peut-être cela est-il indispensable pour rendre le truman apte à servir au séchage. Et puis l'adaptation d'une circulation extérieure de vapeur fait de cet instrument perfectionné un appareil nouveau auquel il serait bon d'enlever le nom de truman pour lui en donner un nouveau ; appelons-le si l'on veut truman sécheur, par opposition à celui que nous venons de décrire et qui ne peut servir qu'au lavage.

Cela dit en passant pour être aussi complet que possible, car nous ne parlerons pas de cet appareil lorsque nous étudierons les sécheurs ; nous possédons trop peu de détails sur sa construction pour en parler savamment, et puis nous sommes très sceptique quant à l'efficacité de l'adaptation du truman au séchage.

Nous ne ferons que signaler en passant une disposition particulière de truman qui avait pour but de permettre de laver par ce procédé les guttas dures qui ne tournent pas avec l'appareil courant. Cet appareil est d'ailleurs inusité ; il n'y a aucun intérêt à trouver le moyen de laver les guttas dures dont nous parlons, car elles sont de trop bonne qualité pour être employées seules ; il vaudrait mieux pouvoir bien nettoyer les espèces inférieures, et ce truman n'y est pas plus apte que l'appareil que nous avons décrit.

La caisse est la même que celle du truman, mais le corps cylindrique et les rouleaux qui y tournent sont remplacés par le masticateur sécheur que nous décrirons dans un instant, mais qui ici tourne dans l'eau, par suite de l'obligation où l'on est de loger à l'intérieur de la caisse les engrenages qui communiquent au deuxième rouleau denté le mouvement du premier ; la place utile est réduite environ de moitié, et la charge n'est que de 15 kilogrammes pour un appareil de même volume que le truman ordinaire. Il est donc sans intérêt.

Sécheurs.

Il y a deux façons de sécher la gutta. On peut, quand elle est à la température de l'eau bouillante, la mastiquer au contact de l'air en renouvelant la surface au moyen d'un appareil déjà chaud, mais dépourvu de tout système de chauffage, la présence constante de gutta chaude et le mouvement entretenant assez bien la température.

L'appareil qui remplit ces conditions est le sécheur décrit par M. Wünschendorff, et tout récemment par M. Pellissier [1]. On appelle improprement cet appareil un masticateur ; en réalité, il ne mastique pas : il ouvre la gutta pour en renouveler les surfaces, et quand elle en sort, elle est remplie de bulles d'air qui ne permettent pas de l'employer directement aux machines à fils.

Un autre procédé consiste à sécher la gutta au moyen d'un appareil chauffé. Deux systèmes sont employés dans ce but : le masticateur sécheur et les cylindres laminoirs mélangeurs sécheurs.

Le masticateur sécheur est un masticateur comme ceux que nous décrirons dans un instant, mais il est muni d'une double enveloppe où circule de la vapeur. C'est un mauvais appareit de séchage ; l'accès de l'air n'est pas assez large, les surfaces pas assez renouvelées. Quand on emploie de la vapeur à 4 atmosphères pour le chauffage, la température de la gutta ne dépasse pas 93-95° ; il produit un moins bon travail que le sécheur à vis en bronze dont nous venons de parler.

Cependant quelques usines anglaises possèdent des appareils de ce genre où l'on peut porter jusqu'à 105° la température de la gutta. Dans ce cas, l'appareil devient précieux, puisqu'aucun des moyens que nous possédons ne nous permet d'atteindre une pareille température pour le séchage.

Les cylindres laminoirs (fig. 1) qui servent au mélange et au séchage de la gutta sont deux cylindres de 30 centimètres de diamètre et de 0,95 m. de longueur, ayant leurs axes parallèles dans un plan horizontal et chauffés intérieurement à la vapeur ; on en peut régler la température au moyen de robinets et varier la distance avec des vis de rappel.

La charge d'un appareil de ce genre est d'environ 45 kilogrammes de gutta : on n'y met la gutta que quand elle est ramollie par l'eau bouillante et les cylindres déjà chauds. La distance des cylindres pour une pareille charge est de 4 à 5 centimètres : la gutta ne s'enroule ordinairement que sur un des deux cylindres, que l'ouvrier s'arrange pour être celui qui est le plus

[1] *La Lumière Électrique*, 1892, n° 45 (fig. 12 et 13).

proche de lui. Une certaine quantité de matière tourne dans l'espace qui sépare les deux cylindres sans s'engager entre eux. Pendant tout le temps de l'opération, l'ouvrier, avec son couteau, taille d'un seul trait allant jusqu'au métal, une génératrice entière de la couche de gutta. Cette couche se rebrousse, elle cesse de tourner avec le cylindre et elle est remplacée par une partie de celle qui tournait, comme nous l'avons dit, dans l'angle supérieur formé par les deux cylindres sans s'y engager. On répète ces entailles, à raison d'environ une par tour ou par deux tours jusqu'à ce que la partie fraîche de l'entaille n'émette plus de vapeur, auquel cas on peut considérer la gutta comme presque sèche.

On ne pousse jamais cette dessication à fond;

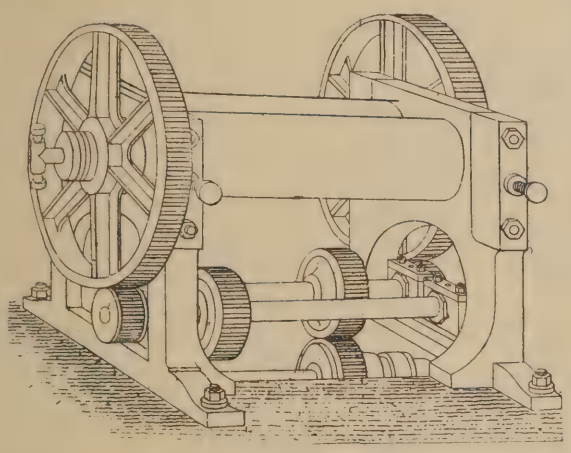


Fig. 1. — Cylindres sécheurs.

les cahiers des charges imposent un maximum de 5 o/o d'eau, le tout est donc de rester au-dessous de ce maximum; il reste de l'eau qui se vend au prix de la gutta, l'isolement est moins fort que si la gutta était entièrement sèche, et celle-ci est plus facile à travailler. Le seul inconvénient est une capacité un peu plus élevée, mais la marge est assez grande entre la capacité obtenue et celle imposée pour qu'on ait quelque latitude.

Masticateur.

Le masticateur (fig. 2) a pour but de pétrir la gutta de façon à lui donner de l'adhésion et sur tout à faire éclater les bulles d'air qu'elle peut contenir, bulles d'air qui plus tard, lors de la fabrication du fil, viendraient éclater à la sortie de la filière et constituer autant de défauts.

Le masticateur se compose essentiellement d'un corps cylindrique muni d'un couvercle à l'intérieur duquel tourne un cylindre cannelé ou mieux un prisme à cinq pans, car les cannelures ont un inconvénient, c'est que le pain de gutta qui sort de l'appareil dans ce cas possède des cannelures longitudinales qui, venant à s'accoler lorsqu'on lisse la surface du pain au moment de l'introduire dans le cylindre de la machine à fils, emprisonnent de l'air, ce qui détruit en partie le travail accompli par le masticateur.

Travail de la gutta.

Maintenant que nous connaissons les diffé-

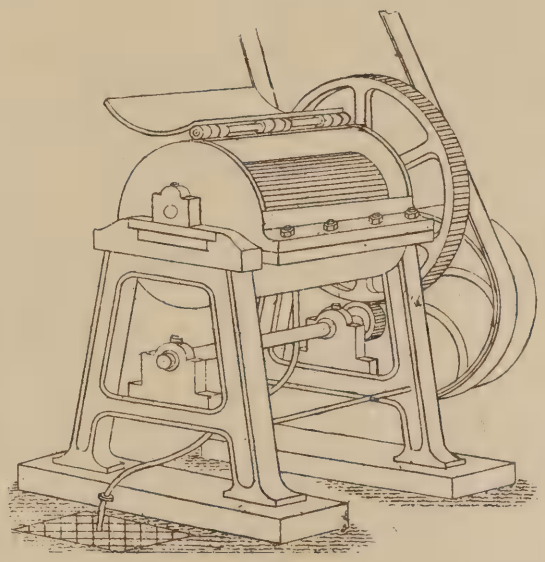


Fig. 2. — Masticateur.

rents appareils qui servent à travailler la gutta, nous allons examiner la suite d'opérations que doit subir un pain de gutta brute sortant du magasin avant d'y rentrer à l'état de gutta pure, mélangée ou non.

On peut se proposer de faire le mélange des diverses sortes à la sortie même du magasin. C'est le procédé qu'il faut suivre de toute nécessité quand on emploie le truman, car, comme nous l'avons dit, certaines des espèces entrant dans le mélange ne se nettoient pas séparément. Au contraire, quand on emploiera tout autre procédé, on se gardera bien de faire le mélange des espèces brutes, car il est impossible, dans ces conditions, d'avoir une fabrication homogène. Le rendement de chacune des espèces

varie suivant son état hygrométrique, et cet état hygrométrique n'est pas le même dans les différentes parties d'un tas.

Il est donc préférable de nettoyer chaque lot séparément et de se rendre compte, une fois pour toutes, des qualités mécaniques et électriques de la gutta obtenue. On fait ensuite des mélanges au fur et à mesure des besoins.

Procédé de la pile. — A la sortie de la pile, la feuille de gutta est portée aux laminoirs sécheurs. En effet, il est préférable de ne pas emmagasiner la gutta sous cette forme spongieuse, trop favorable à l'oxydation. Si on est en fabrication courante, on profite de ce séchage aux laminoirs pour y faire le mélange des espèces toutes préalablement réduites à cet état de feuilles spongieuses mais ayant subi à l'air une dessication aussi complète que possible. Quand la masse est relativement sèche et bien mélangée, on la tire à la calandre, et après refroidissement on la coupe en feuilles qu'on emmagasine.

Procédé des cylindres. — On opère exactement de même quand on nettoie aux cylindres seuls. On fait sécher à l'air les feuilles ridées avant de les peser pour les mélanger.

Quand on emploie le filtre, on emmagasine la gutta à l'état d'espèces non mélangées et on se contente à la sortie du filtre d'une dessication imparfaite au masticateur sécheur ou bien on ne dessèche pas du tout; la quantité d'eau qui reste après filtration, dans une espèce déterminée, peut être pratiquement considérée comme une constante qu'on détermine une fois pour toutes sur la première portion du lot. On en tient compte pour faire les mélanges. Ceux-ci se font, comme toujours, aux laminoirs sécheurs au moment de l'emploi.

On emploie rarement le truman quand on nettoie aux cylindres; la succession des opérations est la même que dans le cas de la râpe, la râpe étant remplacée ici par les cylindres.

Procédé de la râpe. — Ici on opère toujours le mélange des espèces au couteau. Suivant la propreté du produit, on fait cinq ou sept passages à la râpe, puis on ramollit la gutta à l'eau bouillante et on la filtre par lots de 60 kilogrammes; à la sortie du filtre, on lamine à la calandre. Les feuilles laminées sont reprises par quantités de 27 à 28 kilogrammes, ramollies à l'eau, puis mises pendant deux heures à tourner dans le truman; à la sortie de cet appareil, on divise le pain entre deux masticateurs sécheurs, on fait tourner deux heures et on tire en feuilles.

Dans ce procédé, le mélange est très bien fait, il est très homogène, mais, comme il résulte du mélange de quantités dont le rendement est susceptible de variations assez considérables, l'avantage d'un mélange homogène disparaît devant l'impossibilité où l'on se trouve d'avoir un mélange dans des proportions définies.

Le mélange aux laminoirs sécheurs présente des inconvénients d'un autre genre. Il n'est jamais aussi parfait que le précédent et il exige une main d'œuvre considérable. Il faut, en effet, composer chaque charge avec des quantités pesées exactement, et le mélange est d'autant plus difficile à faire que pour réduire le nombre des pesées on fait les charges plus fortes. Il ne faut pas dépasser 80 kilogrammes; ce poids est admissible quand la gutta va rentrer au magasin après le mélange. Si, au contraire, on fait le mélange directement au moment de l'emploi, il ne faut pas mettre plus de 45 kilogrammes sur le cylindre; avec une plus grande quantité, la dessication deviendrait trop difficile.

Procédés par dissolution.

Si nous avions rédigé ce travail il y a seulement deux ans, nous aurions été absolument autorisé à passer sous silence ce chapitre. La dissolution de la gutta-percha, employée dans les premiers jours de la fabrication, n'avait jamais été appliquée sur une grande échelle pour des raisons que nous exposerons tout à l'heure. Aujourd'hui, il n'en est plus de même; de tous côtés on voit surgir des procédés pour la purification de la gutta au moyen des dissolvants, ou par d'autres procédés chimiques. Les déboires ne leur seront pas ménagés, car la plupart ne semblent pas se douter que la gutta obtenue à l'aide des dissolvants pourrait très bien ne pas donner de bons résultats aux fabricants.

Nous avons vu déjà un procédé d'extraction de la gutta par l'essence de térébenthine; nous l'avons cité parce qu'il était contemporain des premiers procédés mécaniques. Ajoutons qu'il ne vaut absolument rien; ce qui reste après le départ d'une partie de l'essence de térébenthine est un mélange de gutta et d'essence que par aucun moyen pratique on ne peut séparer.

Plus tard, Hancock fut mieux inspiré en

adoptant le chloroforme et la précipitation par l'alcool; il était en avance de cinquante ans sur son siècle, car ce procédé est un de ceux auxquels il nous faudra revenir quand les guttas nous arriveront de plus en plus résineuses, comme elles commencent à le faire aujourd'hui.

On dissout 125 grammes de gutta dans 2500 grammes de chloroforme. et à la dissolution filtrée on ajoute encore 500 grammes de chloroforme.

On verse ensuite cette dissolution dans un volume égal d'alcool à 90°. La gutta se précipite; une partie des résines reste en dissolution. Si on avait employé de l'alcool absolu, la totalité des résines serait restée en dissolution,

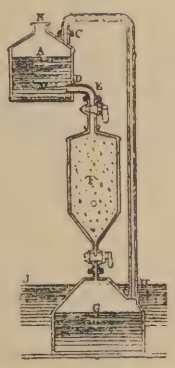


Fig. 3

la gutta pure surnageant à l'état de flocons blancs.

Le premier procédé vraiment industriel basé sur l'emploi des dissolvants est celui du docteur anglais De Normandy, antérieur à 1855.

Une partie en poids de gutta-percha dissoute dans environ 20 parties de sulfure de carbone fournit une masse sirupeuse brune et trouble qu'on clarifie et décolore, d'abord en l'abandonnant au repos pour que les matières les plus pesantes se précipitent, puis introduisant le liquide qui surnage dans l'appareil représenté figure 3.

A, vase contenant le liquide brun sirupeux provenant de la dissolution. Ce vase est pourvu de trois ouvertures B C D; E, tube de communication entre le vase A et le vase F qui est rempli de charbon animal et pourvu à sa partie inférieure d'un robinet qui débouche dans un troisième vase ou récipient G portant une tubulure H sur laquelle s'élève un tube qui met en communication les vases A et G; tous ces vases peuvent être faits en zinc, mais tous les assemblages et communications doivent être parfaitement imperméables à l'air.

Voici quel est le fonctionnement de cet appareil.

Le liquide brun sirupeux qu'on a obtenu est introduit dans le vase A; ouvrant ensuite les robinets R R', il tombe dans le vase F en filtrant à travers le charbon animal qui remplit celui-ci, et de là dans le vase G à l'état limpide.

H est une bâche remplie d'eau froide dans laquelle plonge le vase G. La liqueur ainsi filtrée est introduite dans un alambic pourvu d'un réfrigérant et on distille sa portion liquide ou volatile superflue. Si ensuite on désire obtenir la gutta-percha filtrée à l'état solide on évapore à siccité.

Ce procédé a surtout été employé pour obtenir des feuilles minces de gutta; dans ce cas on répandait la solution sur une plaque de verre de la même façon qu'en photographie on répand une couche de collasion sensible, le sulfure de carbone venant à s'évaporer il restait sur le verre une pellicule mince et transparente de gutta-percha pure.

Tout récemment, M. A. Grammont a pris un brevet pour la purification de la gutta-percha brute au moyen des dissolvants. Ce procédé aurait surtout pour avantage de s'opposer à l'oxydation de la gutta pendant la fabrication et de régénérer la gutta déjà oxydée. Nous avouons tout d'abord être très sceptique quant aux résultats obtenus dans ce sens; nous allons décrire le procédé, on pourra juger ensuite de sa valeur.

On commence par agiter mécaniquement ensemble, en vase clos et à l'aide de la chaleur, de la gutta coupée en tranches avec du sulfure de carbone. Quand la dissolution est opérée, on ouvre un robinet inférieur, lequel est précédé d'un filtre. La dissolution s'écoule; on laisse déposer. Le liquide se sépare en deux couches par ordre de densité, une contenant la gutta pure, l'autre la gutta oxydée; celle-ci est décantée, l'autre est portée à l'alambic pour y être évaporée à sec. On évapore également à sec la gutta oxydée et on la reprend par la benzine, puis on y fait passer un courant d'oxyde de carbone qui désoxyde la gutta; on laisse encore une fois déposer; le liquide se sépare en couches de puretés

diverses suivant l'ordre des densités; on réunit le produit de l'évaporation de la plus pure à la gutta pure déjà recueillie; le reste constitue une gutta de seconde qualité.

M. Jungfleisch a proposé le toluène pour l'extraction de la gutta.

M. Rigole en revient au sulfure de carbone; nous ne citons qu'en passant et pour mémoire le procédé de M. Sérullas, où on traite la matière renfermant de la gutta, successivement par l'acide chorhydrique, la soude en vase clos, le réactif de Schweizer. La gutta reste finalement quand on a tout dissous, mais nous croyons que dans bien des cas ce n'est pas de la gutta pure qu'on obtiendra, mais bien un mélange de gutta et de pâte de bois, car si l'on songe aux difficultés qu'on éprouve quand on applique le procédé analytique de séparation de la cellulose au moyen de l'azotite cupro-ammoniacal, il est facile de prévoir ce que sera le procédé industriel.

Résumons maintenant et voyons ce que nous avons à espérer des procédés basés sur la dissolution.

Industriellement, seuls les dissolvants bouillant à basse température peuvent être recommandés; les autres, tels que la benzine, ne conviennent pas parce que leur point d'ébullition est trop élevé, et à la température de dessication de la gutta ils ne peuvent être complètement chassés. Les traces qui restent alors donnent au produit des qualités collantes qui le déprécient dans une mesure qu'on peut évaluer à 30 ou 50 o/o quand il s'agit de la benzine et du toluène et le rendent sans valeur dans le cas de l'essence de térébenthine.

Il ne faut pas oublier que dans le cas d'extraction ou de purification de la gutta au moyen des dissolvants, ceux-ci dissolvent encore autre chose que la gutta, cires, résines, graisses, chlorophylle, etc., et qu'il y a lieu de se préoccuper de la présence de ces produits dans la gutta ainsi obtenue.

Nous terminerons en disant que dans le traitement et la purification de la gutta il faut se garder avec soin d'introduire des changements radicaux; nous avons un produit précieux, qui travaillé d'une certaine manière a produit de bons résultats.

Gardons-nous d'y apporter de trop grandes modifications, de peur qu'il ne s'ensuive des conséquences fâcheuses et surtout qu'il n'y entre un produit étranger, cire, graisse ou autre, qui changerait totalement la nature de ce précieux isolant.

Dr Léon Brasse.

SELF-INDUCTION ET CAPACITÉ [1]

Deuxième cas. — introduction d'une force électromotrice constante.

Valeur du courant et de la charge.

La force électromotrice prenant subitement la valeur E, les équations (5) et (6) deviennent

$$\frac{d^2 i}{d t^2} + \frac{R}{L}\frac{di}{dt} + \frac{i}{LC} = 0; \qquad (48)$$

$$\frac{d^2 q}{d t^2} + \frac{R}{L}\frac{dq}{dt} + \frac{q}{LC} = \frac{E}{L} \qquad (49)$$

La première est la même que dans le cas précédent, la seconde a un terme constant, mais on la ramène immédiatement à être la même que dans le cas déjà étudié, en posant

$$q' = q - EC = q - Q.$$

Les solutions sont donc maintenant

$$i = c_1 \varepsilon^{-\frac{t}{T_1}} + c_2 \varepsilon^{-\frac{t}{T_2}}, \qquad (50)$$

$$q = Q + c_3 \varepsilon^{-\frac{t}{T_1}} + c_4 \varepsilon^{-\frac{t}{T_2}}. \qquad (51)$$

Ces expressions s'obtiendraient aussi en substituant directement E à $f(t)$ dans les solutions générales (13) et (14). La première donne en effet (50) directement. Pour q on a :

$$q = \frac{EC}{\sqrt{R^2C^2 - 4LC}}(T_1 - T_2) + c_3 \varepsilon^{-\frac{t}{T_1}} + c_4 \varepsilon^{-\frac{t}{T_2}}.$$

Mais

$$T_1 - T_2 = \sqrt{R^2C^2 - 4LC};$$

d'où l'expression (51).

Ces expressions se présentent sous la forme réelle lorsque $R^2C > 4L$.

Si $R^2C < 4L$, on a comme précédemment

$$i = A \varepsilon^{-\frac{Rt}{2L}} \sin\left[\frac{\sqrt{4LC - R^2C^2}}{2LC} t + \Phi\right] \qquad (52)$$

$$q = Q + A' \varepsilon^{-\frac{Rt}{2L}} \sin\left[\frac{\sqrt{4LC - R^2C^2}}{2LC} + \Phi'\right] \qquad (53)$$

[1] *La Lumière Electrique*, 21 janvier 1893, p. 117.

Enfin si $R^2 C = 4 L$, les solutions sont :

$$i = c_1 \varepsilon^{-\frac{R t}{2 L}} + c_2 t \varepsilon^{-\frac{R t}{2 L}}, \tag{54}$$

$$q = Q + c_3 \varepsilon^{-\frac{R t}{2 L}} + c_4 t \varepsilon^{-\frac{R t}{2 L}}. \tag{55}$$

1° $R^2 C > 4 L$. — *Charge non oscillante.*

Les conditions du problème sont ici :

pour $t = 0$, $i = 0$, $q = Q_0$ (charge initiale),
pour $t = \infty$, $i = 0$, $q = Q_1$ (charge finale).

La détermination des constantes faite comme dans le premier cas conduirait a des résultats analogues, et l'on peut écrire immédiatement les expressions definitives

$$i = \frac{Q_0 - Q}{T_2 - T_1} \left[\varepsilon^{-\frac{t}{T_1}} - \varepsilon^{-\frac{t}{T_2}} \right], \tag{56}$$

$$q = Q + \frac{Q_0 - Q}{T_1 - T_2} \left[T_1 \varepsilon^{-\frac{t}{T_1}} - T_2 \varepsilon^{-\frac{t}{T_2}} \right]. \tag{57}$$

Ces expressions donnent la valeur du courant

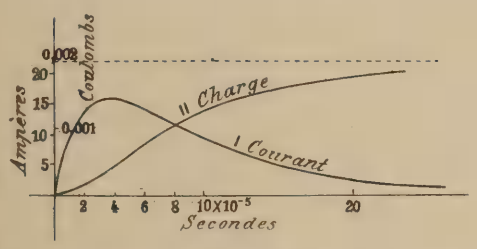


Fig. 7. — Charge non oscillante d'un condensateur d'une capacité d'un microfarad sous une différence de potentiel de 2000 volts et en circuit avec une résistance de 100 ohms et une self-induction de 0,0125 q.

ou de la charge à chaque instant, quelles que soient $Q_0 = E_0 C$ et $Q = E C$, c'est-à-dire pendant les charges ou décharges partielles ou totales.

Si la charge finale est $Q = 0$, nous obtenons le cas d'une décharge complète et les équations sont alors les mêmes que (26) et (27).

Si $Q_0 = 0$, c'est le cas d'une charge complète de 0 à Q.

Ce dernier cas a été représenté sur la figure 7 dans le cas d'un circuit ayant pour constantes

$$R = 100^{\omega}, \quad C = 1^{\mu}, \quad L = 0{,}0016^{q},$$

c'est-à-dire les mêmes que dans le cas de la figure 1.

La courbe I (fig. 7) est la même que III (fig. 1). La courbe II (fig. 7) est la même que III (fig. 2), mais renversée et placée au-dessous de la droite $Q = 0{,}002$.

On remarquera que sur la courbe I l'intensité est à chaque instant proportionnelle à la tangente d'inclinaison de la courbe II. On voit aussi pour la même raison que le point d'inflexion de la courbe II correspond au maximum de la courbe I.

Nous allons appliquer les équations précédentes à deux cas particuliers connus.

Établissement du courant dans un circuit à self-induction. — Nous devons faire $C = \infty$, d'où

$$T_1 = \infty, \quad T_2 = \frac{L}{R},$$

d'où

$$i = c_1 + c_2 \varepsilon^{-\frac{R}{L} t}.$$

La détermination des constantes peur les conditions initiales $t = 0$, $i = 0$; $t = \infty$, $i = \frac{E}{R}$ donne immédiatement le résultat bien connu de l'établissement du courant dans un circuit à self-induction :

$$i = \frac{E}{R} \left(1 - \varepsilon^{-\frac{R t}{L}} \right). \tag{58}$$

Charge d'un condensateur dans un circuit sans self-induction.— Si l'on fait $L = 0$, on voit comme précédemment que

$$T_1 = R C, \quad T_2 = - R C,$$

d'où

$$i = c_1 \varepsilon^{-\frac{t}{R C}} + c_2 \varepsilon^{+\frac{t}{R C}} \tag{59}$$

$$q = Q + c_5 \varepsilon^{-\frac{t}{R C}} + c_4 \varepsilon^{+\frac{t}{R C}}. \tag{60}$$

Les conditions aux limites montrent encore que c_2 et c_4 sont nulles, De plus, pour $t = 0$ on doit avoir $i = 0$, $q = Q_0$, d'où :

$$Q_0 = Q + c_3, \quad \text{ou} \quad c_3 = Q_0 - Q.$$

Différentiant l'équation (60), on a

$$i = \frac{dq}{dt} = - \frac{c_3}{R C} \varepsilon^{-\frac{t}{R C}} = c_1 \varepsilon^{-\frac{t}{R C}},$$

d'où

$$c_1 = - \frac{c_3}{R C} = \frac{Q - Q_0}{R C},$$

et par suite

$$i = \frac{Q - Q_0}{R C} \varepsilon^{-\frac{t}{R C}}, \tag{61}$$

$$q = Q + (Q_0 - Q) \varepsilon^{-\frac{t}{R C}} \tag{62}$$

Ces expressions s'appliquent aussi bien au cas d'une charge qu'à celui d'une décharge suivant les grandeurs relatives de Q et Q_0. En particulier en faisant $Q = 0$, on a le cas d'une décharge complète

$$i = \frac{Q}{RC} \varepsilon^{-\frac{t}{RC}}, \tag{63}$$

$$q = Q\left(1 - \varepsilon^{-\frac{t}{RC}}\right). \tag{64}$$

Nous ferons remarquer que l'équation (63) est la même que l'équation (36), dans le cas de la décharge d'un condensateur dans une résistance, et que (64) est analogue à l'équation (58) d'établissement du courant dans un circuit contenant une résistance et une self-induction.

2° $R^2 C > 4 L$. — *Charge oscillante.*

Les constantes A A', Φ et Φ' de (52) et (53),

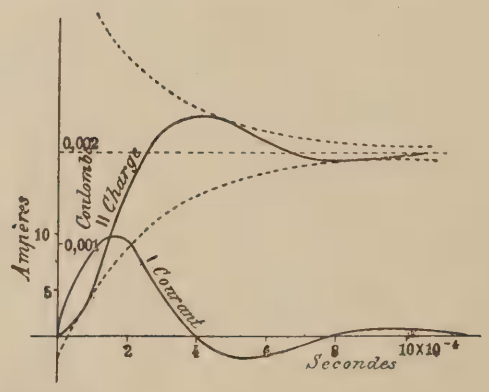


Fig. 8. — Charge oscillante d'un condensateur d'une capacité d'un microfarad sous une différence de potentiel de 2000 volts et en circuit avec une résistance de 100 ohms et une self-induction de 0,0125 q.

peuvent être déterminées par les conditions aux limites :

pour $t = 0$, $i = 0$, et $q = Q_0$
pour $t = \infty$, $i = 0$, et $q = Q$.

Mais par analogie avec celles du cas déjà étudié (44) et (45), on peut écrire immédiatement les expressions de i et de q :

$$i = \frac{2(Q_0 - Q)}{\sqrt{4LC - R^2C^2}} \varepsilon^{-\frac{Rt}{2L}} \sin \frac{\sqrt{4LC - R^2C^2}}{2LC} t \tag{65}$$

$$q = Q + \frac{2(Q_0 - Q)\sqrt{LC}}{\sqrt{4LC - R^2C^2}} \varepsilon^{-\frac{Rt}{2L}} \left[\sin \frac{\sqrt{4LC - R^2C^2}}{2LC} t + \text{arc tang} \frac{\sqrt{4LC - R^2C^2}}{RC}\right]. \tag{66}$$

Si $Q = 0$, nous aurons une décharge complète, cas déja étudié. Suivant que Q sera plus petit ou plus grand que Q_0, nous aurons une décharge ou une charge partielle. Enfin, nous aurons une charge totale si $Q_0 = 0$.

C'est le cas de la figure 8, où les constantes sont les mêmes que sur la figure 3. Les courbes I et II sont les mêmes dans les deux figures, mais celle de la figure 8 est retournée et placée au-dessous de l'horizontale $Q = 0{,}002$.

3° $R^2 C = 4 L$. — *Cas critique de la charge oscillante.*

C'est le cas limite de la charge oscillante.

L'analogie avec le cas semblable déjà étudié (40) et (47), nous donne immédiatement

$$i = \frac{E - E_0}{L} t \varepsilon^{-\frac{Rt}{2L}} \tag{67}$$

$$q = Q + (Q_0 - Q)\left(1 + \frac{Rt}{2L}\right) \varepsilon^{-\frac{Rt}{2L}}. \tag{68}$$

La figure 9 représente ces expressions dans le

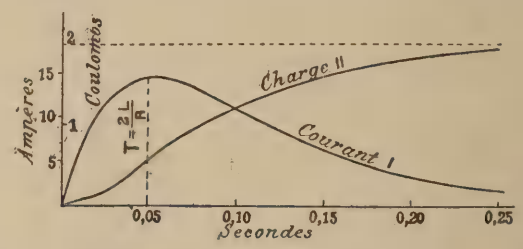


Fig. 9. — Charge critique d'un condensateur de 1000 microfarads en circuit avec une résistance de 100 ohms et une self-induction de 2,5 q.

cas d'un circuit ayant les mêmes constantes que dans le cas de la figure 6 (charge complète, $Q_0 = E_0 = 0$).

Dans ces deux figures les courbes I sont les mêmes et les courbes II également, celle de la figure 6 étant retournée et placée au-dessous de l'horizontale 0,002.

Troisième cas. — Force électromotrice harmonique.

C'est le cas qui a été le plus étudié jusqu'ici parce qu'il constitue le principe de la théorie approchée des courants alternatifs.

Il est déjà connu par de nombreux travaux, et les lecteurs de ce journal n'ont pas oublié la remarquable étude de MM. Hutin et Leblanc sur ce sujet.

Néanmoins le mémoire de MM. Bedell et Crehore contient quelques points intéressants qu'il est utile de signaler.

Comme dans les deux cas précédents on peut évidemment toujours déduire les expressions générales de i et de q, soit de la solution générale trouvée, soit des équations différentielles particulières au cas considéré.

Soit

$$e = f(t) = E \sin \omega t,$$

La transformation de la solution générale dans ce cas n'offre aucun intérêt, toutes les intégrations sont élémentaires et après avoir remplacé T_1 et T_2 par leurs valeurs, puis posé

$$\frac{\frac{1}{C\omega} - L\omega}{R} = \operatorname{tang} \theta,$$

on trouve la formule bien connue, généralisation de celle de M. Joubert,

$$i = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{C\omega} - L\omega\right)^2}} \sin(\omega t + \theta). \qquad (69)$$

La relation $q = \int i\, dt$ permet d'écrire immédiatement la valeur de q

$$q = \frac{-E}{\omega \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{C\omega} - L\omega\right)^2}} \cos(\omega t + \theta), \qquad (70)$$

en supprimant dans les deux cas les exponentielles qui deviennent rapidement négligeables.

On arrive aussi au même résultat en résolvant directement l'équation différentielle

$$\frac{d^2 i}{d t^2} + \frac{R}{L}\frac{d i}{d t} + \frac{i}{LC} = \frac{E\omega}{L} \cos \omega t, \qquad (71)$$

à l'aide de la méthode symbolique qui a servi déjà à trouver la solution générale au début de l'étude de MM. Bedell et Crehore.

Nous ne parlerons pas des cas particuliers bien connues de circuits contenant résistance et self-induction, ou résistance et capacité, ou résistance seule et enfin capacité seule, et nous arrivons de suite aux effets produits par les variations des constantes du circuit.

La valeur efficace du courant est :

$$I = \frac{\frac{E}{R}}{\sqrt{1 + \operatorname{tang}^2 \theta}}, \qquad (72)$$

ou E est la tension efficace.

1° Si E varie, R, L, C, ω restant constants θ reste le même et I varie proportionnellement à E;

2° Supposons que R varie, tang θ variera proportionnellement à $\frac{1}{R}$ et I diminue avec l'accroissement de R, et cette diminution dépend non seulement de R, mais aussi de la relation qui lie $\frac{1}{C\omega}$ et $L\omega$.

La figure 10 montrent deux cas particuliers des variations du courant produit par celles de la résistance.

La courbe I correspond à un circuit pour lequel

$L = 2^{q}$, $C = 0{,}55^{\mu}$, $E = 200$ volts, $2\pi n = \omega = 955$,

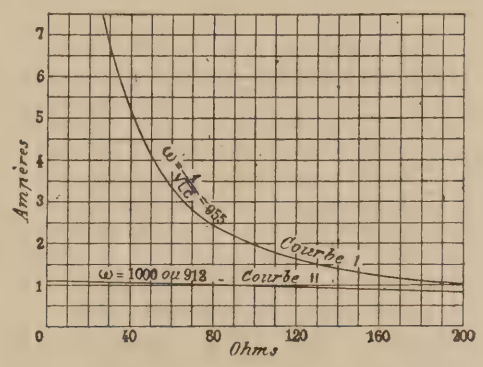


Fig. 10. — Variation du courant en fonction de la résistance dans un circuit où :

$E = 200^{v}$, $C = 0{,}55^{\mu}$, $L = 2^{q}$.

et tel que

$$\frac{1}{C\omega} = L\omega \qquad \text{ou} \qquad \theta = 0.$$

La courbe II représente la valeur du courant avec les mêmes constantes, sauf pour ω, qui est cette fois égal à 1000 ou 912.

On retrouve ainsi ce résultat qu'un faible changement dans ω fait varier considérablement l'intensité;

3° L variable :

a) $L < \frac{1}{C\omega^2}$ tang θ est positif et θ est par suite un angle d'avance, il diminue tandis que I croît lorsque L va en croissant.

b) $L > \frac{1}{C\omega^2}$ θ est alors un angle de retard, et il croît en valeur absolue tandis que I décroît lorsque L croît.

La figure 11 représente ces variations dans le cas particulier ou :

$R = 50$ ohms, $C = 0{,}55$ microf., $w = 1000$, $E = 200$ volts.

On voit facilement qu'à une faible variation de L correspond une variation importante de θ.

Le maximum de I correspond à $L = 1{,}82$;

4° C variable :

a) $C < \frac{1}{L\omega^2}$, θ est un angle d'avance et diminue tandis que I croît lorsque C augmente.

b) $C > \frac{1}{L\omega^2}$, θ est un angle de retard et croît tandis que I décroît avec l'accroissement de C.

Ces variations sont représentées sur la figure 12, où

$R = 50$, $L = 2$, $\omega = 1000$, $E = 200$,

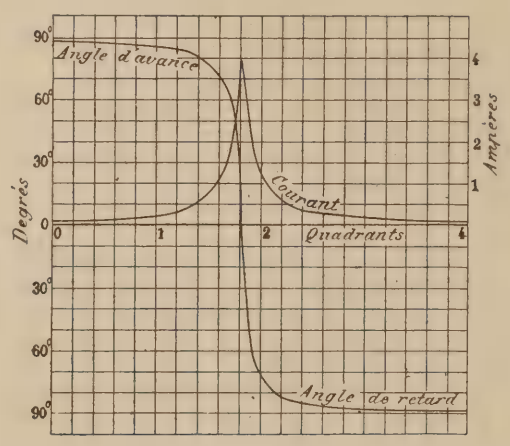


Fig. 11. — Variation du courant et des angles d'avance et de retard en fonction de la self-induction dans un circuit où :

$R = 50\,\omega$, $C = 0{,}55^{\mu}$, $E = 200^{v}$, $\omega = 1000$.

le point où la self-induction et la capacité s'équilibrent correspond à $C = 0{,}6$ microfarad ;

5° ω variable :

a) $\omega < \frac{1}{\sqrt{LC}}$, θ est positif et décroît, I croisant, lorsque ω augmente ;

b) $\omega > \frac{1}{\sqrt{LC}}$. θ est un angle de retard croissant en même temps que I décroît lorsque ω augmente.

La figure 13 montre ces variations dans le cas ou :

$R = 50^{\omega}$, $L = 2^{q}$, $C = 0{,}55^{\mu}$, $E = 200$ volts.

Le maximum du courant a lieu pour $\omega = 955$.

La figure 14 représente la force électromotrice nécessaire pour obtenir une intensité constante donnée dans un circuit où L est seul variable. Les constantes sont :

$R = 50$, $C = 0{,}55$, $I = 1$ amp., $\omega = 1000$.

Lorsque la self-induction croît jusqu'à 1,82 la force électromotrice décroît presque proportionnellement, et pour $L = \frac{1}{C\omega^2} = 1{,}82$, elle est seulement de 50 volts. Elle recroît ensuite presque proportionnellement à L.

Introduction d'une force électromotrice harmonique dans un circuit.

Revenons aux solutions générales. On sait

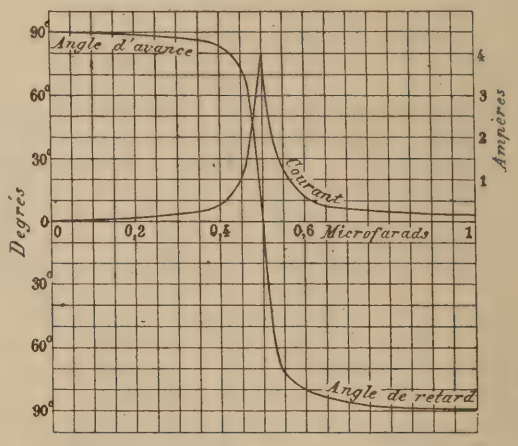


Fig. 12. — Variation du courant et des angles d'avance et de retard en fonction de la capacité dans un circuit où :

$R = 50\,\omega$, $L = 2\,q$, $E = 200^{v}$, $\omega = 1000$.

que les exponentielles deviennent rapidement négligeable, néanmoins il est intéressant de voir ce qui se passe au moment même où l'on introduit la force électromotrice à un instant quelconque de sa période. Ces solutions générales sont encore applicables pourvu que l'on détermine convenablement les constantes c_1 et c_2.

Le cas ou $4L < R^2C$ est celui d'une décharge apériodique; mais comme dès que L à une valeur assez forte, on a $4L > R^2C$, nous étudierons uniquement ce dernier cas dont les résultats sont, du reste, plus intéressants.

Nous déterminerons donc d'abord c_1 et c_2, puis nous en déduirons la solution générale que

nous appliquerons ensuite à un circuit particulier, en construisant la courbe de l'intensité du courant parcourant ce circuit avant que le régime stable soit établi.

La solution de l'équation différentielle (71) sans second membre, c'est-à-dire

$$c_1 \varepsilon^{-\frac{t}{T_2}} + c_2 \varepsilon^{-\frac{t}{T_2}},$$

peut dans le cas $4 L > R^2 C$ se mettre sous la forme

$$A \varepsilon^{-\frac{R t}{2 L}} \sin [at + \Phi],$$

en posant

$$\frac{\sqrt{4 L C - R^2 C^2}}{2 L C} = a, \qquad (73)$$

L'expression générale du courant est alors, en posant $\omega t + \theta = \psi$:

$$i = I \sin \psi + A \varepsilon^{-\frac{R t}{2 L}} \sin (at + \Phi), \qquad (74)$$

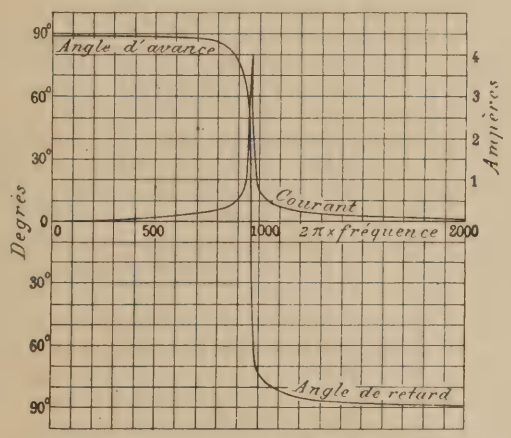


Fig. 13 — Variation du courant et des angles d'avance et de retard en fonction de la fréquence dans un circuit où :

$R = 50\,\omega$, $C = 0{,}55^{\mu}$, $E = 200^{v}$, $\omega = 1000$.

et celle de la charge

$$q = -\frac{I}{\omega} \cos \psi + A' \varepsilon^{-\frac{R t}{2 L}} \sin (at + \Phi'), \qquad (75)$$

Dérivons les deux membres de cette dernière; on obtient :

$$i = \frac{dq}{dt} = I \sin \psi + A' \varepsilon^{-\frac{R t}{2 L}} \left[a \cos (at + \Phi') - \frac{R}{2 L} \sin (at + \Phi') \right]$$

ou

$$i = I \sin \psi + \frac{A'}{\sqrt{L C}} \varepsilon^{-\frac{R t}{2 L}} \sin \left(at + \Phi' - \text{arc tang} \frac{2 L a}{R} \right),$$

On en déduit :

$$A = \frac{A'}{\sqrt{L C}} \quad \text{et} \quad \Phi = \Phi' - \text{arc tang} \frac{2 L a}{R},$$

et enfin pour l'expression de q

$$q = -\frac{I}{\omega} \cos \psi + A \sqrt{L C}\, \varepsilon^{-\frac{R t}{2 L}} \sin \left(at + \Phi + \text{arc tang} \frac{2 L a}{R} \right) \qquad (76)$$

Dans ces expressions nous avons supposé que le temps est compté à partir du moment où la force électromotrice est nulle; or, si t_1 désigne l'instant où la force électromotrice est introduite, on sait que le courant et la charge sont nuls en ce temps; on en déduit des équations suffisantes pour déterminer les constantes.

Les expressions de i et de q donnent en effet pour $i_1 = 0$, $q = 0$, $t = t_1$,

$$0 = I \sin \psi_1 + A \varepsilon^{-\frac{R t_1}{2 L}} \sin (a t_1 + \Phi)$$

$$0 = -\frac{I}{\omega} \cos \psi_1 + A \sqrt{L C}\, \varepsilon^{-\frac{R t_1}{2 L}} \sin \left(a t_1 + \Phi + \text{arc tang} \frac{2 L a}{R} \right)$$

Fig. 14. — Relation entre la force électromotrice et la self-induction, lorsqu'un courant d'un ampère traverse un circuit où :

$R = 50\,\omega$, $C = 0{,}55^{\mu}$, $\omega = 1000$.

Ces équations résolues par rapport à Φ, puis A donnent, toutes réductions faites,

$$\Phi = \text{arc cotang} \left[-\frac{2 \text{ cotang } \psi_1 + R C \omega}{\omega \sqrt{4 L C - R^2 C^2}} \right] - a t_1 \qquad (77)$$

et

$$A = -\frac{2 I \varepsilon^{+\frac{R t_1}{2 L}}}{\omega \sqrt{4 L C - R^2 C^2}} \sqrt{(L C \omega^2 - 1) \sin^2 (\psi_1) + 1 / 1 R C \omega \sin 2 (\psi_1) + 1} \qquad (78$$

qu'il suffit de transporter dans l'expression de i pour avoir la solution générale définitive

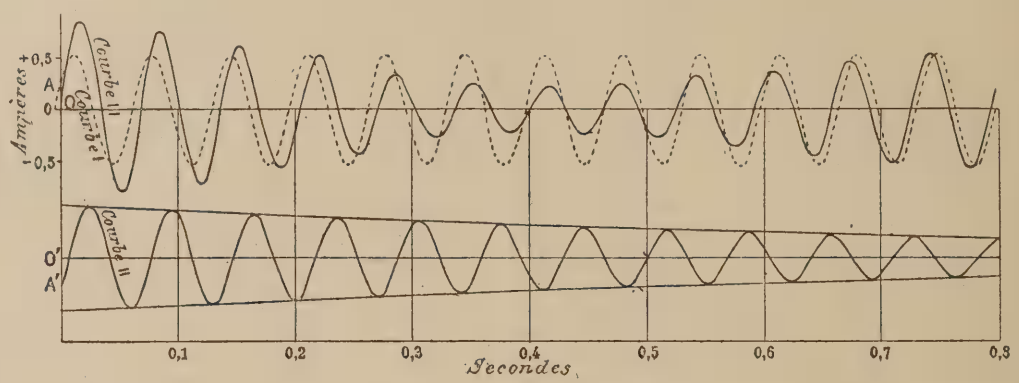
$$i = I \sin \psi - \frac{2 I \sqrt{(L C \omega^2 - 1) \sin^2 \psi_1 + \frac{1}{2} R C \sin 2 \psi_1 + 1}}{\omega \sqrt{4 L C - R^2 C^2}} \varepsilon^{-\frac{R}{2 L}(t - t_1)} \sin \left[a (t - t_1) + \text{arc cotang} \left(-\frac{2 \text{cotang} \psi_1 + C R \omega}{\omega \sqrt{4 L C - R^2 C^2}} \right) \right]$$

On voit sur cette expression que le décroissement de l'amplitude maxima du courant dépend uniquement de la constante de temps du circuit $\frac{L}{R}$.

La fréquence des oscillations est $\frac{a}{2\pi}$ et la période $\frac{2\pi}{a}$.

En second lieu, la valeur initiale du second terme dépend de ψ_1 et est le coefficient de ε. Enfin ce second terme se réduit à I sin ψ_1 pour $t = t_1$, et ce qui donne bien un courant nul au moment ou l'on introduit la force électromotrice.

Pour montrer plus clairement l'importance de chaque terme, construisons les courbes corres-



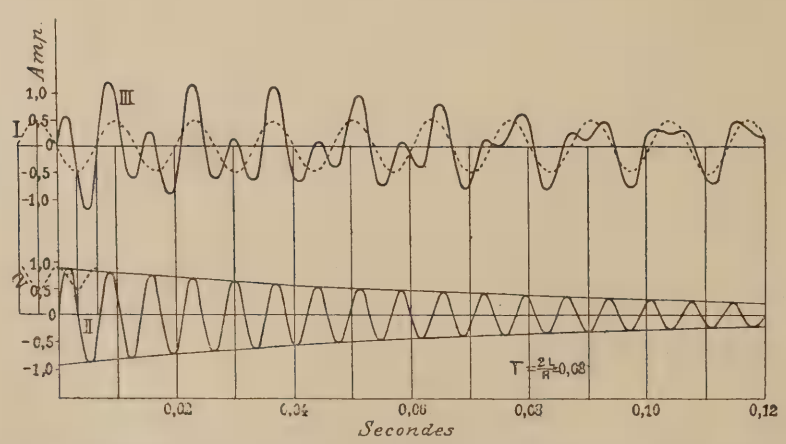


Fig. 15 et 16. — La courbe III représente le courant au moment de l'introduction de la force électromotrice. Elle est la somme des courbes I et II, I étant une sinusoïde et II une sinusoïde dont l'amplitude décroît suivant une courbe exponentielle.

pondant à chacun d'eux et à la valeur i, en supposant que le circuit à les constantes suivantes :

$E = 100 \times 10^8$ C. G. S.
$R = 50 \times 10^9$ C. G. S.
$L = 2 \times 10^9$ C. G. S.
$C = 0{,}55\ 10^{-15}$ C. G. S.
$\omega = 1000$
$T = \frac{2L}{R} = 0{,}08$ seconde,
$I = 0{,}53$ ampère,
$\theta = -74^\circ{,}30'$,
$a = 955$.

L'expression de i est alors :

$$i = 0{,}53 \sin(\omega t - 74^\circ{,}30') - 0{,}477\sqrt{0{,}1 \sin^2\psi_1 + 0{,}0127 \sin 2\psi_1 + 1} \times \varepsilon^{-\frac{t - t_1}{0{,}08}} \sin[955(t - t_1) + \chi] \quad (79)$$

La courbe III de la figure 15 représente le cas où la force électromotrice est introduite à un moment tel que $\psi_1 = 30^\circ$.

Dans ce cas la valeur de i est :

$$i = 0{,}53 \sin\psi - 0{,}495\ \varepsilon^{-\frac{t - t_1}{0{,}08}} \sin[955(t - t_1) + \chi] \quad (80)$$

χ est l'angle de retard dont l'expression a été obtenue plus haut.

χ n'a pas été représenté sur la figure. Il n'est pas nécessaire, en effet de le connaître pour la construction des courbes, la phase étant déterminée par la distance O' A' égale et opposée à O A.

On remarquera que la valeur initiale de la courbe logarithmique est, dans ce cas particulier, à peu près la même quel que soit ψ_1 et de plus est toujours sensiblement la même que la valeur maxima du courant I.

La courbe I représente le premier terme, II le second ; on voit qu'au bout d'une seconde le courant devient sensiblement sinusoïdal.

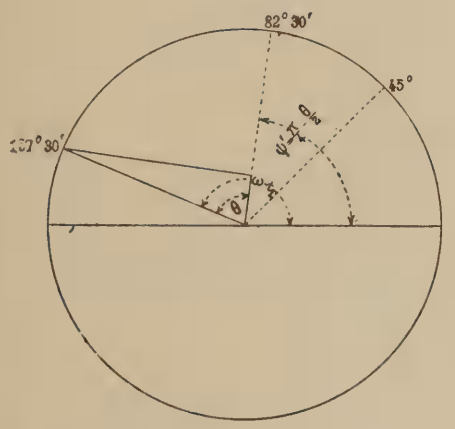


Fig. 17. — Détermination géométrique de l'angle ψ dans le cas où l'effet du terme exponentiel est maximum.

La figure 16 représente un second cas particulier avec le même circuit que pour la précédente, mais où $\omega = 500$ et où la force électromotrice maxima 1320 a été calculée de façon à ce que l'intensité fût 0,5.

Dans ce cas $\theta = 88°,55'$, et l'expression de i est, en donnant à ψ_1 la valeur 180° (qui est celui ou chaque terme du courant s'annule au moment de l'introduction) :

$$i = 0{,}5 \sin \psi - 0{,}955\, \varepsilon^{-\frac{t - t_1}{0{,}08}} \sin [955 (t - t_1) + \chi] \quad (81)$$

Il est à remarquer que l'ordonnée initiale de la courbe logarithmique varie assez considérablement suivant le moment où la force électromotrice est introduite. La courbe IV (fig. 16) représente ces variations entre 0° et 180°, et on voit que cette valeur est presque le double de celle du maximum du courant, car leur rapport est : $\frac{0{,}955}{0{,}5}$.

Ces deux exemples suffisent pour montrer la diversité des cas que l'on peut obtenir. Il est intéressant de rechercher à quel moment il faut introduire la force électromotrice pour rendre les effets oscillatoires maxima. Il suffit pour cela de revenir à l'expression de i. Le coefficient de ε est maximum (t_1 variant) lorsque la quantité sous le radical l'est ; différentions celle-ci, nous obtenons :

$$(L C\omega^2 - 1) \sin 2\psi_1 + R C\omega \cos 2\psi_1 = 0,$$

d'où

$$\operatorname{tang} 2\psi_1 = \frac{R C\omega}{1 - L C\omega^2} = \operatorname{cotang} \theta,$$

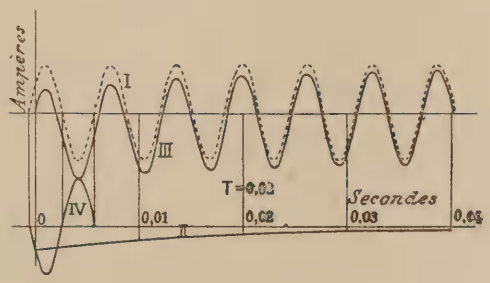


Fig. 18. — Courbe montrant l'effet du terme exponentiel $c\varepsilon^{-\frac{Rt}{L}}$ sur le courant dans un circuit où :

$L = 1\,q$, $R = 50$ ohms, $\omega = 1000$, $\psi_1 = 30°$.

et par suite :

$$\psi_1 = \frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{2},$$

et

$$\omega t_1 = \frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{2},$$

Si l'on donne à θ la valeur — 75° (fig. 15), la valeur de ψ_1 correspondant au maximum est 82° 30' ; si $\theta = 80°\ 55'$ (fig. 16), ψ_1 est égal à 4° 32',5 pour le maximum.

La courbe IV montre que le maximum correspond à peu près au cas où $\psi = 0$, ce qui est d'accord avec les résultats.

La figure 18 représente un cas particulier où il n'y a pas de capacité ; on a alors

$$i = I \sin \psi - I\, \varepsilon^{-\frac{R}{L}(t - t_1)} \sin \psi_1. \quad (82)$$

On remarquera que dans ce cas la force élec-

tromotrice peut être introduite à un instant tel que le terme exponentiel n'ait aucun effet, ce qui ne peut avoir dans le cas général.

F. Guilbert.

(*A suivre*).

CHRONIQUE ET REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

Procédé électrolytique Andréoli (1891).

Ce procédé a pour objet non seulement l'électrolyse économique des sels, comme le chlorure de sodium, par exemple, mais aussi le traitement simultané de certaines matières, comme les flegmes, les alcools, etc. par les produits de cette électrolyse.

L'appareil qui sert à l'électrolyse du chlorure de sodium se compose de deux auges A et B, servant de cathodes : l'une en fer, A, et l'autre en charbon poreux, séparées par du coke en morceaux. Les anodes en carbone CCC plongent dans l'auge B. La soude est recueillie par le robinet D, et le chlorure s'évacue par E.

On peut traiter simultanément entre les compartiments A et B des aldéhydes ou des flegmes, par exemple, qui s'y purifient et forment de l'alcool sous l'action de la soude et de l'hydrogène dégagés de l'électrolyse du chlorure de sodium en B. Afin d'éviter autant que possible le mélange de ces deux liquides F_1 et F au travers de la cloison poreuse B, on leur donne à peu près la même densité, puis la même vitesse de sortie ou le même débit de circulation par les pompes G et G_1 ; on arriverait ainsi à empêcher toute interdiffusion des liquides; il ne se mêlerait pas d'alcool à la soude dans les compartiments des anodes ni de chlore à l'alcool dans celui des cathodes. G. R.

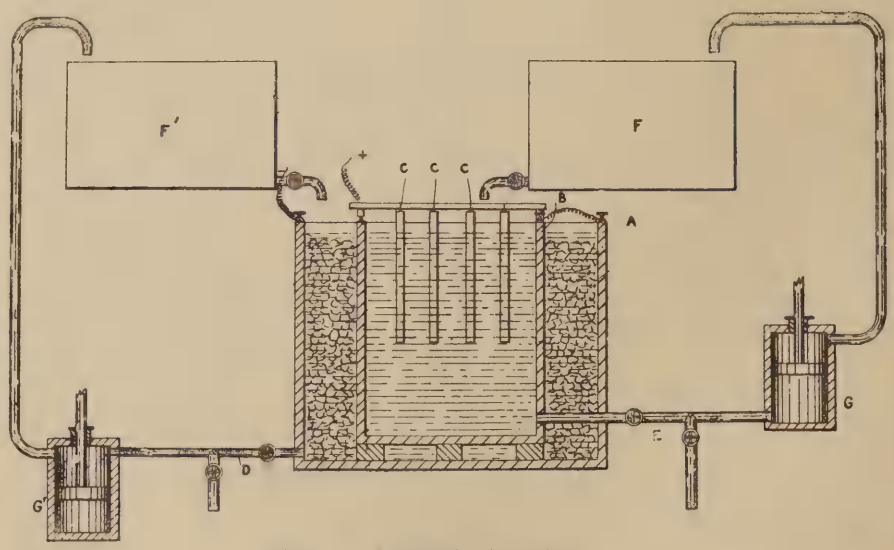


Fig. 1. — Andréoli. Electrolyse.

Electrolyse Faure (1892).

La disposition de cuve électrolyseuse récemment proposée par M. Faure a principalement pour objet d'éviter, dans l'électrolyse des chlorures alcalins, la formation de grandes quantités d'acide hypochloreux en place du chlore.

L'appareil se compose (fig. 1) d'un certain nombre d'auges électrolytiques à parois en briques poreuses A, avec chapiteau imperméable *a*, diaphragmes poreux B, suffisamment écartés de A, et cloisons C, en un mélange d'argile de charbon et de bitume, cuites au four de façon à constituer des électrodes imperméables conjointement avec le coke très dense tassé en *c* et c_1, et qui les protège de l'attaque immédiate de l'oxygène et de la soude dégagés par l'électrolyse. L'oxygène se combine en partie en acide carbonique avec ce coke facile à renouveler; quant à

la soude, elle attaque aussi le coke, et même les électrodes C, qu'il faut parfois protéger en outre par des plaques de fonte écartées du côté négatif des électrodes par un intervalle de 25 millimètres bourré de poussier de coke ou de charbon.

La solution de chlorure de sodium arrive aux compartiments *c c* par les tuyaux D D, d'où elle s'infiltre par les cloisons A et B, *c* et c_1.

Le courant électrique arrive, suivant les flèches, en + F, par les parois positives des électrodes C, d'où le chlore se dégage, tandis que la soude se dégage aux parois négatives de ces électrodes. Les gaz dégagés aux parois + F se

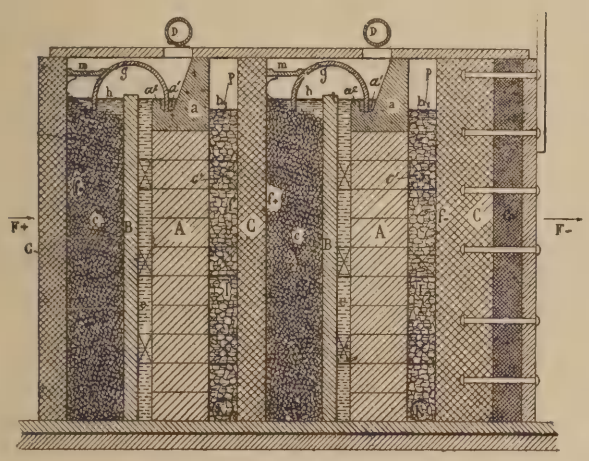


Fig. 1. — Faure. Electrolyse

recueillent dans les conduits *g*, à joints hydrauliques a^2 a', et à fermeture complémentaire *m*.

Afin d'éviter qu'il ne se produise aux parois + F de l'acide hypochloreux, comme cela aurait lieu si l'on n'employait ainsi que du chlorure de sodium, on mélange à ce chlorure une dissolution de sulfate de soude neutre ou acide au taux de 2 o/o environ, dont l'acide sulfurique ne tarde pas à s'accumuler peu à peu sur les parois + F, pendant que la soude passe aux compartiments c_1 c_1... entre A et C. Cet acide sulfurique forme avec le chlorure de sodium du sulfate de soude et de l'acide chlorhydrique, lequel, réagissant sur l'acide hypochloreux à mesure qu'il se forme, en dégage tout le chlore au travers du coke en *g*.

L'eau admise par les tuyaux K maintient sensiblement invariable la densité des différentes dissolutions du bain, et le chlorure de sodium, constamment alimenté en C, empêche les dissolutions acides et alcalines de se combiner, en les maintenant suffisamment séparées. Les dissolutions de chlorure de sodium et de soude se touchent suivant des surfaces verticales occupant, selon le débit de la dissolution de soude, des positions plus ou moins voisines du milieu des cloisons poreuses A A, mais sans se mélanger sensiblement en pratique, d'après M. Faure.

Des trop-pleins *p* maintiennent le niveau de h_1 un peu au-dessous de *h*, de façon que le liquide passe de *c* en h_1 et I en suivant la formation de la soude, ce dont on s'assure facilement par une analyse élémentaire.

La dissolution de chlorure arrive à 20 ou 30° dans l'appareil, où sa température s'élève, puis se maintient uniformément à 60° environ.

Les gaz dégagés en *g*, formés principalement de chlore d'oxygène et d'acide carbonique, traversent une colonne de coke incandescent, qui transforme l'acide carbonique et l'oxygène en oxyde de carbone.

G. R.

Poêle thermo-électrique Giraud.

M. Giraud emploie dans la construction de sa pile thermo-électrique des électrodes formées de l'une des trois compositions suivantes.

Pour des éléments de faibles dimensions, parties en poids :

Antimoine	1450
Zinc	900
Cadmium	50
Cuivre	80
Étain	40
Silicium	3

Pour des éléments de moyennes dimensions, parties en poids :

Antimoine	1440
Zinc	780
Cadmium	60
Cuivre	30
Étain	15
Silicium	2

Pour des éléments de grandes dimensions, parties en poids :

Antimoine	1840
Zinc	960
Cadmium	65
Silicium	2

Chaque élément (fig. 1) de la pile est formé

par une électrode *a* en alliage fondu, et de deux électrodes *b b'* formées de bandes de fer étamé ou de nickel pur; elles peuvent toutefois être formées aussi par du fer iridié, platiné, ou nickelé à la surface, ou par du ferro-aluminium. Dans l'alliage formant l'électrode *a*, plusieurs métaux, tels que le zinc et l'antimoine, ont déjà été employés dans des piles thermo-électriques;

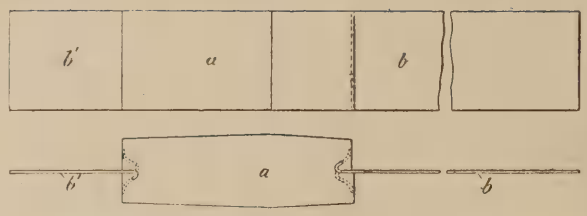


Fig. 1

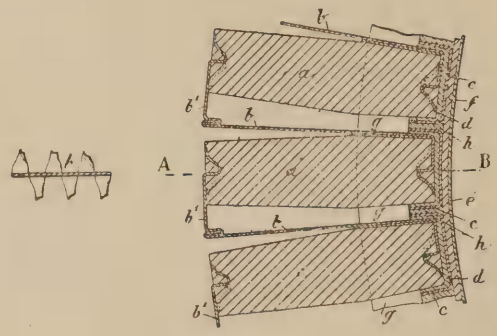


Fig. 5 et 2.

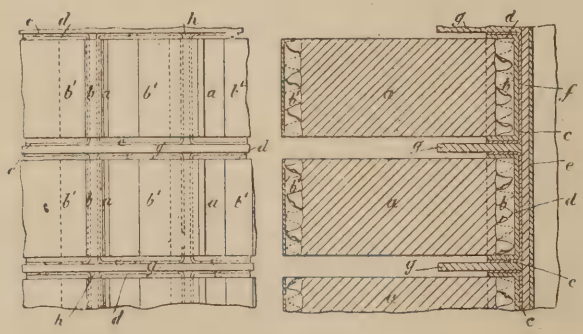


Fig. 3 et 4.

M. Giraud y ajoute du cuivre pour augmenter la résistance mécanique, diminuer la résistance électrique et élever le point de fusion de l'alliage. L'étain rend le métal plus fluide une fois fondu, le silicium augmente la résistance à la rupture, et le cadmium fait augmenter dans une grande mesure la force électromotrice de l'élément.

Les dimensions données aux électrodes *a* sont variables. Petit modèle : longueur 7 cm., largeur 2 cm., hauteur 2 cm.; modèle moyen : longueur 7 cm., largeur 2 cm., hauteur 3 cm.; grand modèle : longueur 10, largeur 3, et hauteur 5 cm.

Chacune des électrodes *b b'* est unie à l'électrode *a* par une soudure autogène. Pour obtenir une union parfaite et une grande surface de contact, l'extrémité de chaque plaque est d'abord fendue de bandelettes longitudinales, que l'on tord alternativement à gauche et à droite, comme le montrent les figures 2, 3, 4 et 5. La figure 2

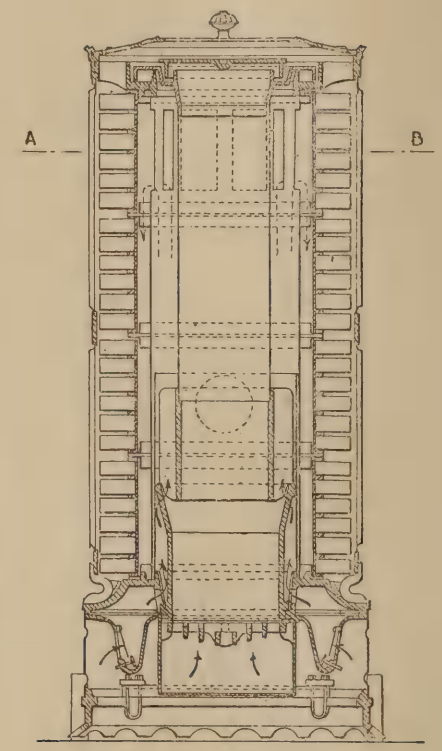


Fig. 6 et 7. — Giraud. Poêle thermo-électrique

est une section horizontale d'un groupe d'éléments reliés ; la figure 3 est une vue de bout, et la figure 4 une section verticale selon A B.

Les connexions d'un élément au suivant sont établies comme le montre la figure 2, les électrodes sont séparées par des feuilles d'amiante. Chaque élément peut être facilement dessoudé et remplacé.

On voit dans les figures 6 et 7 l'application de ces éléments thermo-électriques dans une série de couronnes superposées entourant un poêle mobile. Les éléments s'y trouvent emprisonnés entre le poêle proprement dit et une enveloppe extérieure ajourée. La soudure intérieure de chaque élément est d'abord trempée dans un mélange d'amiante pulvérisé et de silicate de soude, puis insérée dans une douille métallique *c*, qui empêche le métal de couler à l'extérieur, en cas de fusion de la soudure. La couche de silicate indiquée en *d* dans les différentes figures contribue à assurer un bon isolement, en même temps qu'elle fait adhérer l'élément à la capsule *c*. Celle-ci est d'ailleurs séparée de la paroi du poêle par une feuille d'amiante *f*.

Pour obtenir une bonne répartition de la chaleur, des cylindres intérieurs concentriques obligent les produits de combustion à revenir de haut en bas, et à s'échapper par la cheminée située à peu près à mi-hauteur du poêle.

Ces couronnes d'éléments thermo-électriques peuvent être groupées autour de toute espèce de source de chaleur, par exemple près des chaudières, des fours, des tuyaux de vapeur. L'inventeur propose même de s'en servir pour absorber la chaleur perdue des machines à bord des navires, et espère ainsi, tout en rafraîchissant l'atmosphère des chambres de chauffe, produire l'éclairage électrique presque sans frais. Nous croyons que des éléments thermo-électriques auraient bien du mal à absorber la plus grande partie de la chaleur rayonnée, et que l'inventeur devra être satisfait s'il réussit à utiliser la 100e partie de la chaleur qui traverse son poêle.

Quant aux résultats, nous avons vu un poêle Giraud de très grandes dimensions donnant 40 volts avec une résistance intérieure de 10 ohms, et pouvant donc fournir au maximum 40 watts de puissance utile. En brûlant de l'anthracite la dépense est, paraît-il, de 1 franc par 24 heures ou 960 watts-heures utiles.

Traction électrique système Cattori, avec distribution en série par canalisation souterraine.

Presque toutes les lignes de tramways électriques, soit à fil aérien, soit à canalisation souterraine, reçoivent le courant par un système de distribution en dérivation. Il y aurait pourtant de nombreux avantages à effectuer cette distribution en série, c'est-à-dire à intensité constante et à potentiel variable. Ce système est préconisé par M. Cattori, qui veut en outre y joindre l'emploi d'un conducteur souterrain.

Ce système présente deux avantages décisifs lorsqu'il s'agit d'une installation dont les artères doivent traverser une agglomération d'habitations : le premier, c'est qu'il ne nécessite qu'un conducteur unique, et le second que ce conducteur est d'une section plus faible que celle de chacun des deux conducteurs exigés par le système de distribution en dérivation.

Au point de vue de l'exploitation, le système en série permet de faire circuler, en cas de service extraordinaire ou d'augmentation du trafic, un plus grand nombre de voitures, sans accroissement, mais au contraire avec abaissement du coût kilométrique de chaque voiture ajoutée au nombre normal.

Les principaux organes d'une ligne de traction électrique d'après le système Cattori sont :

1° La dynamo génératrice donnant un courant d'intensité constante avec une différence de potentiel variable continuellement selon le travail effectué par l'ensemble des moteurs sur la ligne ;

2° Le conducteur souterrain allant de la dynamo aux moteurs.

Comme le montre le schéma de la figure 1, ce conducteur est sectionné en portions situées à la suite les unes des autres sans se toucher. Les extrémités de chaque section aboutissent dans des boîtes où se trouvent des commutateurs automatiques destinés à interrompre sa continuité tant que le véhicule se trouve en contact avec les extrémités libres des sections de la ligne. Le commutateur rétablit la continuité dès que le moteur en s'éloignant cesse d'être en contact avec les extrémités du conducteur fractionné.

A l'état normal, les appareils réunissent des sections contiguës et constituent ainsi un seul et unique conducteur. Les interruptions ou conjonctions successives sont effectuées mécaniquement par le passage du véhicule. Celui-ci porte

à chacune de ses extrémités un bras (lame) protégé par un solide éperon destiné à débarrasser, au besoin, la lumière de passage, se mouvant dans la rainure du chenal souterrain et qui sert à établir le contact ainsi qu'à déterminer l'interruption et la conjonction. Ces deux fonctions sont accomplies par un seul mécanisme dont les organes sont disposés de manière que la distance entre deux de ces appareils placés chacun à une des extrémités du véhicule soit un peu plus grande que la plus longue section de la voie.

Comme chaque section du conducteur unique est moindre que la distance entre ces appareils, l'interruption s'effectuera toujours sur une partie du conducteur qui est en dehors du courant, c'est-à-dire que B (fig. 1) sera ouvert quand A est encore ouvert et le courant, détourné d'une section, sera restitué à une autre après avoir traversé les deux moteurs M et M' du véhicule.

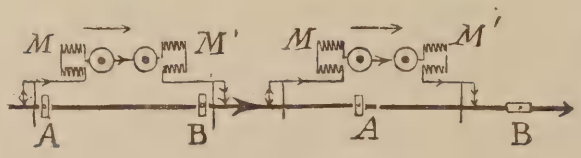


Fig. 1. — Système de traction Cattori.

Il est essentiel de remarquer que l'interruption se produit mécaniquement et non sur un organe électrique ; il n'y a par conséquent aucune formation d'étincelle possible.

Chaque véhicule ou train admis sur la voie deviendra, grâce à la disposition décrite, une sorte de pont traversé par le courant et obligé de se déplacer tout le long de la voie, tous les moteurs engagés sur la ligne étant constamment maintenus en circuit.

S'il n'existe qu'une voie, le câble de retour n'est pas divisé en sections ; ce sera un câble isolé et armé, simplement couché dans le sol, entre les rails, par exemple. Il passera directement du dernier serre-joint à l'autre borne du générateur de l'usine centrale. Pour deux voies, le circuit sera fermé par la voie de retour, le conducteur étant sectionné sur tout son développement.

La caractéristique de la voie à canalisation souterraine système Cattori consiste à disposer l'un des rails dédoublé en rail et contre-rail au-dessus du chenal.

La figure 2 montre l'exemple d'une voie unique. Le conducteur est soutenu à l'intérieur de la conduite par des supports isolants, en-dessous du plan des rails. La fente laissée entre le rail et le contre-rail aura une largeur très réduite, environ 12 millimètres, pour permettre le passage de la lame du collecteur de courant.

Les modes de construction de la voie sont évidemment variables avec les circonstances et les localités. On peut concevoir le système de rail dédoublé assemblé à des cadres en fonte distants de 1,50 m. à 2 mètres et reliés par une maçonnerie formant la cuvette. De solides entretoises réuniraient le contre-rail à l'autre file de rails. Dans la galerie seraient ménagées, de distance en distance, des bouches d'évacuation des eaux et de la boue.

Une autre méthode d'installation consisterait à faire reposer sur le pied droit externe de la

Fig. 2. — Disposition de la canalisation.

galerie un rail à large base, profilé en creux avec saillie robuste vers l'extérieur et laissant encore dans l'espace du sillon concédé aux tramways ordinaires, une lumière de passage à la lame collectrice de courant. La partie de la galerie restant découverte pourrait être refermée de diverses manières, soit, par exemple, en mettant tout le long des morceaux de vieux rails ou de fer à double T, placés transversalement, sur lesquels seraient assemblés, d'une part la cornière contre-rail, d'autre part le second rail de la voie.

Cette construction présenterait beaucoup de cohésion et de solidité, associées à la facilité de découvrir, examiner et recouvrir le caniveau sur une grande partie de sa longueur, en très peu de temps, et sans interrompre le service.

Ce mode de traction est, paraît-il, actuellement en cours d'établissement; nous attendrons qu'il ait été l'objet d'essais pratiques pour y revenir avec plus de détails.

A. H.

Trieur électromagnétique Lovett (1892).

Ce trieur comprend (fig. 1 et 2) deux électro-aimants cylindriques 18 et 33 tournant l'un (18) quatre fois plus vite que l'autre, par un train d'engrenages facile à suivre sur la figure 1 et entraînant, par les baguettes en bronze 16, les toiles sans fin 19 et 34. En outre, l'électro 18 est plus fortement excité que 33.

Le minerai tombe de la table 3, secouée par les trois caoutchoucs 6, sur le plan ondulé 26, d'où les particules très magnétiques sont attirées, par les pôles alternativement opposés de l'électro 18, sur la toile 16, et nettoyés de leur gangue par l'arrosage d'eau 25; puis cette toile

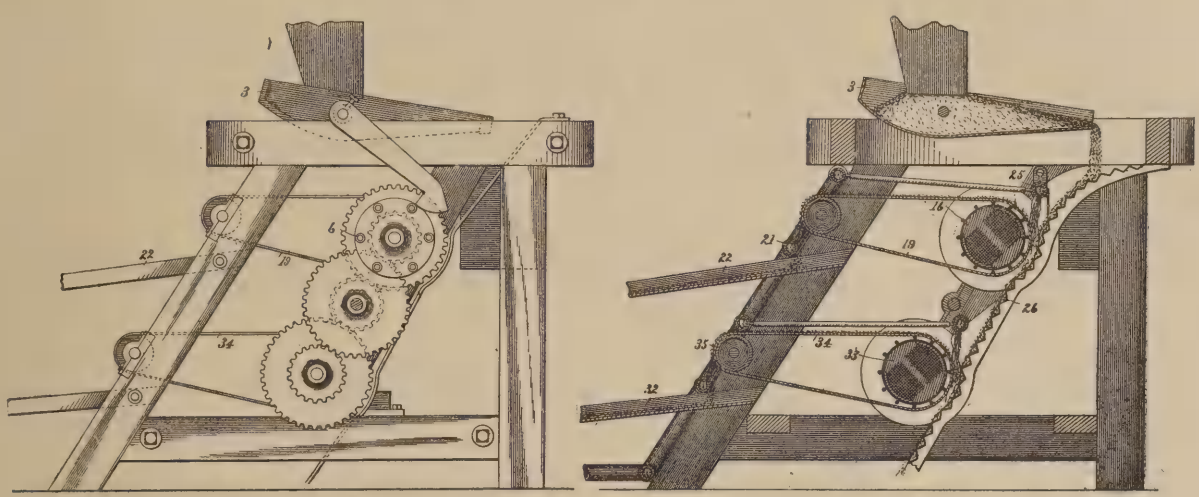


Fig. 1 et 2. — Lovett. Trieur électromagnétique.

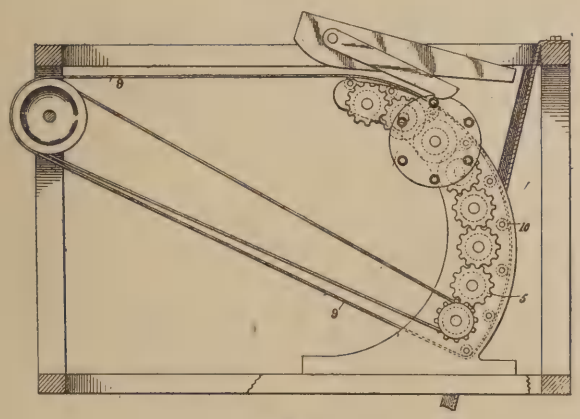


Fig. 3

les amène en 20, où le jet d'eau 21 les sépare de la toile et les fait tomber sur la décharge 22. Le restant du minerai passe devant l'électro 33, qui en sépare les parties moins magnétiques, amenées par la toile 34 à la seconde décharge 32.

Dans le dispositif représenté par les figures 3 et 4 les nombreux électro-aimants 3, 3... conjugués pas les pignons 5, 5..., tournent sous la toile sans fin 9 9, guidée en 10, avec une vitesse indépendante de celle de cette toile. Le minerai se trouve ainsi soumis sur cette toile à l'action d'une succession rapide de pôles magnétiques

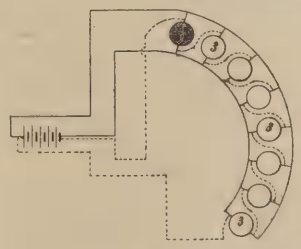


Fig. 4

alternativement de noms contraires, qui, tout en retenant les parties magnétiques sur la toile, les tournent et les retournent de manière à en empêcher l'agglutination et à mieux les séparer des gangues.

Ces trieurs sont adoptés par la « International Ore Separating C° », de New-Jersey.

G. R.

Isolateurs au mica Pratt (1892).

Ces isolateurs sont (fig. 1 à 4) caractérisés par l'emploi de rondelles de mica *d* et *l*, superposées et profilées suivant l'objet de l'isolateur.

L'isolateur pour câbles aériens de tramways

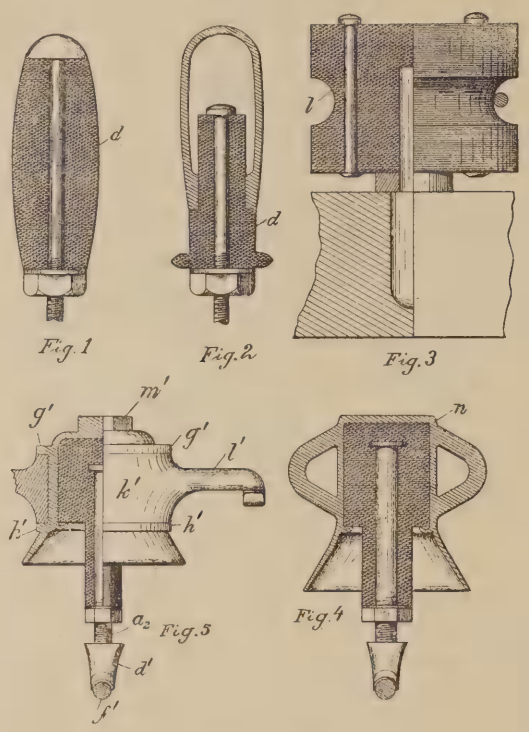


Fig. 1 à 5.

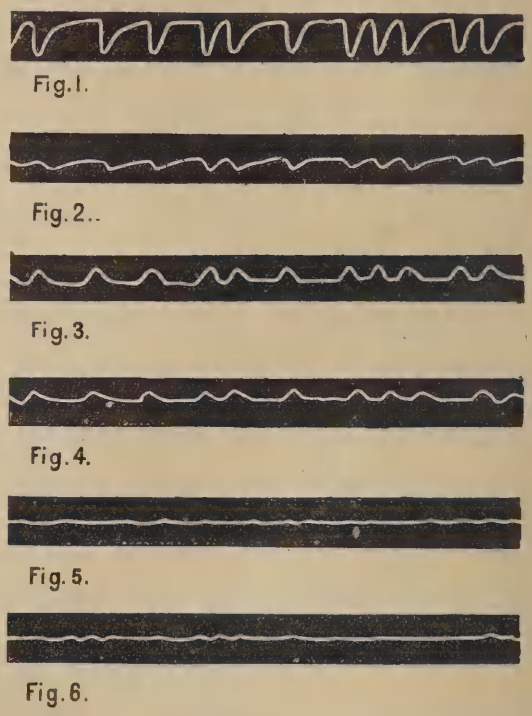
est (fig. 5) pourvu d'un collier mobile *k'*, à bras *l l'*, dont les crochets reçoivent les fils ou rubans de retenue transversaux. Le câble f_1 est soudé au sabot *d'*, dans lequel on visse la tige isolée a_2, en tournant par *m'* sa cloche *g' h'*.

G. R.

Emploi d'un shunt à grande self-induction dans la télégraphie par câble (1).

Une série d'expériences ont été effectuées récemment en Allemagne par l'Office technique des télégraphes pour étudier les effets du système Godfroy consistant à shunter par une grande self-induction l'extrémité réceptrice d'un câble afin de neutraliser les effets de la capacité. Les résultats sont dignes d'être notés, comme on peut s'en assurer par l'inspection des graphiques ci-dessous.

On se servit d'une boucle de câble longue de 600 kilomètres, entre Hambourg et Berlin; résistance, 4200 ohms; capacité, 150 microfarads; service par instruments Morse et relais polarisés Siemens. Les bobines du relais, étant en parallèle, mesuraient 300 ohms. Un instrument Siemens placé entre le relais et la terre servait à enregistrer le courant de déplacement, et les



Formes des courants télégraphiques avec et sans shunt sur le câble.

diagrammes que nous reproduisons ont été fournis par cet appareil. La pile était de 50 éléments.

La figure 1 montre le courant de déplacement quand on transmettait le mot « Berlin ». Une bobine de grande résistance (500 ohms) et de grande self-induction (enveloppe de fer) fut ensuite placée en shunt sur les extrémités du câble. Les figures 3 et 4 montrent des courants de décharge obtenus dans ces conditions par 50 et 100 éléments respectivement. On remarque que dans les deux cas le courant de décharge est l'inverse du courant de la figure 1, à cause de la grande force contre-électromotrice du shunt. Si l'on remplace cette résistance par une autre sans

(1) *The Electrician*, 6 janvier 1893.

self-induction, la décharge prend la forme indiquée par la figure 2, comme on pouvait le prévoir.

Il est évident que, l'inversion du courant de décharge pouvant être ainsi effectuée, il est possible, en réglant convenablement la résistance et la self-induction, de la neutraliser complètement. Le shunt fut donc réduit à 250 ohms et à une plus faible self-induction, mais on y ajoute une résistance non inductive, de façon à obtenir la même résistance totale que précédemment. Les courbes figure 5 et 6 montrent les résultats obtenus respectivement avec 50 et 100 éléments; on voit que le courant dû à la capacité est pratiquement éliminé.

Le shunt à haute self-induction protège donc le relais récepteur des effets du courant de décharge et aussi des variations magnétiques, ce qui facilite beaucoup l'emploi du relais.

A. H.

Sur une méthode de compensation de la réaction d'induit, par H.-J. Ryan [1].

Dans cette méthode, les générateurs ou moteurs sont construits à la façon ordinaire avec cette seule différence que des trous, percés immédiatement en arrière des surfaces des pièces polaires, servent de passage à un enroulement traversé par le courant de l'armature et déterminé de manière à ce que l'effet d'induction produit détruisent ceux engendrés par la distorsion du champ.

Cette méthode avait été inventée vers 1886; mais elle n'avait jamais reçu aucune démonstration pratique, quand dans ces trois dernières années l'auteur l'appliqua aux machines des types connus. Après deux ans d'essais effectués avec le concours de M. E. Thompson, six machines furent projetées, dont deux déjà construites s'appliquent à deux cas pratiques distincts.

Les résultats obtenus furent très satisfaisants et nous indiquons ceux relatifs à l'une de ces machines dont les données de construction sont les suivantes :

Dynamo à quatre pôles de 40 ampères et 100 volts, faisant 1200 tours; champ magnétique de fonte en deux pièces.

Armature système Hefner Alteneck. Le fil disposé dans 58 encoches, forme deux circuits; collecteur de 29 lames.

Les dimensions des encoches sont : 16 mm. × 3 mm. × 16 cm.; diamètre extérieur de l'induit, formé de disques de tôles, 19 cm., diamètre intérieur 8 mm.

Les pertes magnétiques ne s'élèvent qu'à 15/100.

Longueur du circuit magnétique 32 cm.

Densité magnétique dans l'armature 5400, dans l'entrefer 4900, dans les dents de l'induit 8400 et enfin dans les inducteurs 6800.

La force magnétomotrice est de 910 ampères-tours dans les inducteurs, 25 dans l'armature et 1000 dans l'air, c'est-à-dire en tout 1935.

Densité de courant, 1 ampère par mm². Poids total 200 kilog.

Le nombre de spires de la bobine de compensation pour chaque pôle est déterminé par la loi suivante :

Produit du nombre de tours de fil sur l'induit (en face de chaque pôle) par l'intensité du courant = produit du nombre de tours de la bobine compensatrice par l'intensité du courant total de l'armature et qui traverse cette bobine.

Les effets pernicieux ordinaires qui se présentent dans le fonctionnement des machines ou l'entrefer est aussi faible relativement au nombre d'ampères-tours ne furent pas observés; tout se passa comme si la réaction d'induit n'existait pas.

Les pièces polaires couvraient 90/100 de la circonférence de l'armature, de sorte que les ampères-tours inverses étaient négligeables.

A l'aide d'une excitation indépendante le débit de la machine put être poussé jusqu'à 100 ampères, sans que l'abaissement de la force électromotrice aux balais fût supérieure à celui dû à la résistance du circuit. La ligne neutre n'était pas déplacée.

Si la machine s'excitait elle-même, l'abaissement d'excitation donnait lieu à une compensation plus faible. On reconnut que la densité magnétique dans l'entrefer restait la même quel que fût le débit.

En opérant sans bobines compensatrices, et même en tournant à 1800 tours au lieu de 1200, il fut impossible d'obtenir un plus grand débit que 37 ampères sous 85 volts, à cause du peu de fer dans le circuit magnétique pour un aussi grand nombre d'ampères-tours.

---

[1] *Electrical Engineer*, 7 décembre 1892; ou *Journal of Engineering*, octobre 1892.

Les principaux effets obtenus sont les suivants :

L'emploi des bobines compensatrices peut annuler complètement la réaction d'induit et même la renverser dans ses effets. L'induction des pièces polaires, de l'entrefer et de l'armature ne varie pas, quelle que soit la charge; le courant de l'armature n'a pas d'action sur le flux total dans cette armature pour aucune valeur du courant; la ligne neutre reste fixe; le diamètre de commutation change seulement par la faible quantité nécessaire à neutraliser la self-induction de la section commuée par le champ dans lequel il se meut; la régulation du courant constant peut s'effectuer sans changer le diamètre de commutation en faisant varier la force magnétomotrice.

M. Ryan termine en disant que par ce procédé, à l'aide d'un calcul suffisamment exact, on peut augmenter dans une large mesure la puissance spécifique des dynamos actuelles et que l'entrefer peut être aussi petit qu'il est possible de le faire sans nuire au bon fonctionnement de la machine.

F. G.

REVUE DES TRAVAUX

RÉCENTS EN ÉLECTRICITÉ

Note sur la purification du mercure, par M. W. Jaeger.

A l'Institut physico-technique allemand, le mercure destiné aux mesures de précision (construction de résistances-étalons, de baromètres, etc.) est soumis aux procédés de purification suivants.

Comme matière première, on se sert du mercure envoyé de la mine d'Idria en bouteilles de fer, métal de très bonne qualité et que l'on peut employer dans la plupart des cas après simple filtration.

Pour éliminer les métaux lourds qui peuvent y exister, on soumet tout d'abord le mercure filtré et séché à une double distillation dans le vide. Dans cette opération, il est nécessaire d'éviter toute trace de corps gras ou d'autres impuretés pouvant provenir de robinets graissés ou de tuyaux de caoutchouc. Pour cette raison, on se sert d'une pompe à mercure sans robinet, dont toutes les fermetures sont établies par des colonnes de mercure; la communication entre la pompe et l'appareil distillatoire est aussi entièrement en verre sans aucun robinet. Après l'épuisement de l'air, le tube de communication est étiré et fermé à la lampe.

Comme le mercure purifié par distillation peut encore contenir des métaux électropositifs (alcalins, zinc, etc.), on jugea nécessaire de soumettre le métal à une nouvelle purification par

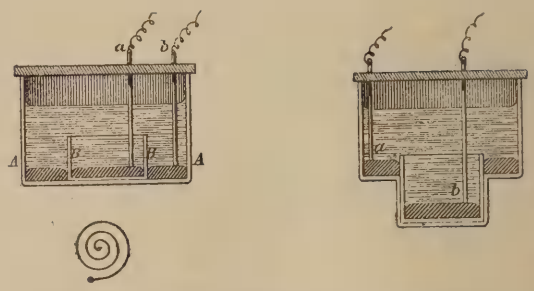


Fig. 1 et 2. — Purification du mercure.

électrolyse, permettant de dissoudre ces impuretés.

Le liquide dont on se sert à cet effet est une solution d'azotate mercureux, obtenue par l'action de l'acide azotique sur du mercure en excès.

Afin de rendre aussi petite que possible la densité de courant, on répartissait le courant entre quatre vases de mêmes dimensions. Ces vases étaient formés d'un cylindre de verre extérieur A (fig. 1) d'environ 19 centimètres de diamètre sur 11 de hautenr, contenant le mercure purifié par distillation et servant d'anode, et d'un autre cylindre de verre B intérieur, de 9 centimètres de diamètre et 3 centimètres de hauteur.

Ce dernier contient la cathode en platine *a* enroulée en spirale.

Lorsqu'une certaine quantité de mercure s'est déposée, de sorte que le fond du vase intérieur en est entièrement couvert, toute sa surface agit comme cathode, et la densité de courant est encore plus faible. Le courant est amené au mercure du vase extérieur par un autre fil de

(1) *Wiedemann's Annalen*, 1893, n° 1, p. 209.

platine *b* isolé du liquide par un tube de verre. La surface totale de la cathode est donc de 260 centimètres carrés, celle de l'anode de 900 centimètres carrés.

La source de courant était une pile thermo-électrique Gulcher qui, avec une résistance intérieure de 0,4 ohm seulement, donne 3,6 à 4 volts. Au moyen d'une résistance on maintenait le courant à environ 1 ampère, temporairement on allait jusqu'à 3 ampères. Avec cette dernière intensité le dépôt du mercure s'effectuait encore dans de bonnes conditions. (Dans ce dernier cas, la densité de courant est d'environ 0,012 ampère par centimètre carré pour la cathode et 0,003 pour l'anode).

Un inconvénient de cette disposition est qu'au bout d'un certain temps l'anode se recouvre de sel basique qui finit par arrêter entièrement le courant. Le liquide voisin de l'anode se concentre de plus en plus et ne diffuse que très lentement vers le haut, pendant que l'excès de sel se précipite.

On pourrait remédier à ce défaut par une autre disposition comme celle de la figure 2. Quand l'anode *a* est à un niveau plus élevé que la cathode *b*, la solution concentrée par le courant descend par suite de sa plus grande densité et déplace la solution pauvre du vase inférieur, de sorte qu'avec ce dispositif il s'établit un courant continu de liquide.

L'examen chimique du mercure ainsi purifié a été effectué par M. Mylius, qui donne les résultats suivants :

Pour déceler les métaux lourds, on a procédé comme suit :

1) 200 grammes de la matière ont été distillés dans un courant d'oxygène: on a obtenu quelques milligrammes d'oxyde cristallisé. Celui-ci se dissolvait sans résidu dans l'acide azotique. La solution évaporée dans un creuset de porcelaine et chauffée jusqu'à volatilisation du mercure, n'a laissé aucune trace de résidu;

2) 200 grammes de la matière ont été traités à basse température par l'acide azotique dilué, jusqu'à ne laisser que 2 grammes de matière non dissoute; ce reste, qui aurait pu contenir le platine provenant éventuellement des électrodes, a été séparé et dissous dans de l'acide azotique; évaporée et volatilisée dans un creuset de porcelaine, la solution n'a pas laissé de résidu appréciable.

L'autre partie de la solution de nitrate fut versée dans de l'acide chlorhydrique dilué. Le chlorure mercureux lavé à l'eau était complètement volatilisable; le liquide filtré fut additionné d'ammoniaque. Le précipité de chlorure ammoniaco-mercurique fut chauffé avec de l'acide formique dilué; on obtint du chlorure mercureux que l'on isola par filtration et qui, volatilisé, ne laissa aucun résidu. Les liquides filtrés contenant de l'ammoniaque et de l'acide formique furent réunis et évaporés. Les sels ammoniacaux, détruits par de l'acide azotique, furent volatilisés; il ne resta qu'un petit résidu, contenant des alcalis, de la chaux et de la silice; ces substances proviennent des vases de verre employés. Les métaux étrangers, constituant les impuretés du mercure, devaient être contenus dans ce résidu; l'analyse systématique de ce dernier ne permit de déceler que des traces de fer; il est probable que ce fer provenait de l'emploi de divers ustensiles en fer au cours des manipulations.

Dans 200 grammes du mercure purifié on ne pouvait donc trouver aucune impureté constituée par des métaux lourds; l'analyse spectrale pour la recherche des métaux légers n'a pas encore été effectuée.

Le mercure pris directement dans les bouteilles de fer d'Idria est rès pur, mais il laisse après volatilisation un résidu sensible.

Recherches expérimentales sur les transformateurs à courants alternatifs, par M. J.-A. Fleming [1].

1. L'un des objets de cette investigation éta la recherche de la méthode pratique la plus rapide pour l'essai des transformateurs industriels. Les méthodes particulières employées par M. Hopkinson et MM. Ayrton et Sumpner exigent l'emploi de deux transformateurs d'égales dimensions. Ces méthodes sont en principe des extensions de celle de M. Hopkinson pour la mesure du rendement des dynamos; elles sont basées sur la mesure directe de la quantité cherchée, c'est à-dire de la puissance perdue dans le transformateur. Ces méthodes, de même que d'autres qui dépendent de l'inscription graphique du courant et de la force électromotrice.

[1] Extrait d'un mémoire lu à l'Institution of Electrical Engineers, le 24 novembre 1892, d'après *The Electrician*.

ont le désavantage de ne pouvoir être toujours appliquées, soit parce qu'on ne dispose que d'un transformateur, soit parce qu'on ne peut avoir accès à la dynamo. Il était donc intéressant d'examiner le degré de précision que permettent d'atteindre les méthodes directes applicables dans les conditions ordinaires de la pratique et en se servant des instruments industriels.

I. *Méthodes de mesure employées.*

2. M. Swinburne avait mis à ma disposition quatre de ses voltmètres électrostatiques et deux de ses wattmètres ; on disposait aussi de balances et de voltmètres électrostatiques de lord Kelvin. Comme les voltmètres électrostatiques de M. Swinburne ont été très utiles pour notre travail, il peut être intéressant d'en examiner les avantages et les inconvénients et de montrer comment ils ont été perfectionnés et calibrés.

Leur description ayant été déjà donnée par l'inventeur, il nous suffira de dire qu'ils consistent en deux paires de boîtes métalliques demi-cylindriques B (figure 1), isolées l'une de l'autre. Un axe métallique vertical porte deux aiguilles demi-circulaires en aluminium, fixées à des hauteurs différentes, de sorte que l'une se meut à l'intérieur de la paire de boîtes supérieures, l'autre dans les boîtes inférieures. Cette aiguille est suspendue à un fil de bronze phosphoré de 0,075 à 0,1 mm. de diamètre, et l'extrémité supérieure du fil est fixée à une tête de torsion T dont l'index se meut sur une graduation. Dans la plupart des expériences, on se servait de la méthode idiostatique : l'aiguille et une paire de demi-cylindres formaient un pôle de l'instrument, et l'autre paire de demi-cylindres le second pôle. Lorsque par l'établissement d'une différence de potentiel l'aiguille est déviée, on tourne la tête de torsion pour la ramener à sa position initiale. Cette position est exactement déterminée par un miroir porté par le fil de suspension.

Dans les premiers essais avec ces instruments, des décharges électriques passant de l'aiguille aux cylindres et détruisant le fil de suspension causèrent beaucoup d'ennuis. Pour y remédier, on garnit les aiguilles d'aluminium de feuilles minces de mica dépassant légèrement les bords.

La sensibilité du voltmètre était telle qu'en mesurant un potentiel alternatif de 2400 volts on pouvait facilement apprécier les différences de 3 à 4 volts, et avec un potentiel suffisamment invariable les lectures pouvaient être faites à 14 o/o près. Le grand défaut de l'instrument est le grand moment d'inertie de l'aiguille, et, dans l'absence de tout dispositif amortissant, cette circonstance cause de grandes pertes de temps quand on veut faire des lectures.

On essaya de créer un champ magnétique amortisseur, mais sans résultat avantageux. Il vaut mieux amortir les oscillations au moyen d'une ailette en mica plongeant dans de l'huile ou de l'eau.

3. Pour le calibrage de ces voltmètres, il fallait d'abord préparer une résistance étalonnée sans induction et capable de supporter sans échauffement sensible un courant d'au moins un quart d'ampère et pouvant être soumise à une tension alternative de 2000 à 3000 volts sans danger de court circuit. Cette résistance fut formée en enroulant du fil de maillechort de 0,2 mm. de diamètre à double couverture de soie autour d'un cadre de bois. Les spires étaient maintenues séparées par des entailles coupées dans les arêtes des bandes d'ardoise fixées sur le cadre. Ces cadres avaient 94 centimètres de longueur sur 35 centimètres de largeur, et le fil formait 56 tours, chaque tour étant distant d'environ 6 millimètres du suivant. La longueur du fil sur chaque cadre était d'environ 115 mètres, mesurant quelque 1600 ohms. Nous avions six cadres donnant ensemble environ 9600 ohms. sous la forme d'un fil parfaitement isolé. Ce fil pouvait transporter un quart d'ampère sans s'échauffer sensiblement et supporter trois quarts d'ampère sans dépasser les limites de sécurité. Les six cadres furent fixés au plafond du laboratoire et disposés de façon que les spires de fils étaient alternativement dextrorsum et sinistrorsum. Les résistances de toutes ces bobines mesurées à 15° C étaient les suivantes :

Bobine 1	1607,2 ohms
» 2	1505,5 »
» 3	1525,5 »
» 4	1649,0 »
» 5	1610,1 »
» 6	1645,7 »
Total	9543,0 ohms

Sur la bobine 1 on avait placé deux bornes, l'une à 394,7 ohms de l'extrémité, l'autre à une

distance de 1212,5 ohms. En prenant des dérivations sur ces bornes, on pouvait diviser la résistance totale de 9543 ohms en deux sections, étant dans l'un des cas dans le rapport 23,175 à 1, dans l'autre cas dans le rapport 6,87 à 1. On avait donc une résistance pratiquement non inductive de 10,000 ohms, divisible en deux sections de rapports variables.

En appliquant aux bornes de cette résistance une tension alternative de 2400 volts exactement mesurée, le fil était porté à une température constante de 20° C à 25° C au-dessus de la température atmosphérique (15° C), autant qu'on pouvait en juger par un thermomètre. En prenant pour le coefficient de température du maillechort 0,021 o/o par degré, on trouve qu'à 40° C la bobine entière aurait une résistance de 9591

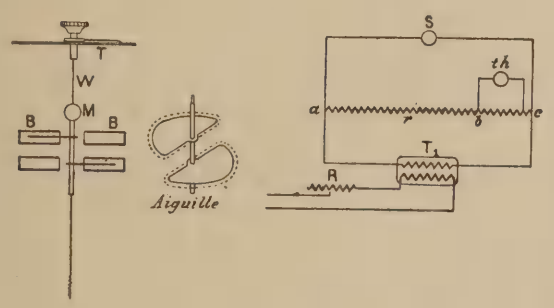


Fig. 1 et 2.

ohms ; donc, si la résistance était réellement non inductive, le courant qui la traverse avec 2400 volts serait de 2400/9591 = 0,25 ampère. Le courant réel, soigneusement mesuré au moyen d'une balance de lord Kelvin, était exactement de 0,25 ampère, ce qui montre que la résistance ne présentait pas d'induction.

Dans toutes les expériences, on admit donc qu'une tension de 2400 volts appliquée à la résistance y faisait circuler un courant de 0,25 ampère avec absorption de 600 watts. Pour abréger, cette résistance sera désignée par la notation n° 1. A l'aide de cette résistance subdivisée, les voltmètres Swinburne pouvaient être facilement étalonnés.

Un transformateur de 24 à 1, T_1 (fig. 2), était mis en relation avec des conducteurs à 100 volts par l'intermédiaire d'un rhéostat R, de façon à élever la tension et à pouvoir la régler entre les limites voulues. La résistance n° 1 fut placée sur les bornes à haute tension, et l'on établit sur la petite section et sur la résistance entière un voltmètre multicellulaire électrostatique Kelvin *th* et un voltmètre Swinburne S, comme le montre la figure 2.

En prenant les indications du voltmètre Kelvin correspondant à différentes tensions et en multipliant ces indications par 24,175, nous obtenions la valeur de la différence de potentiel [1] aux bornes du voltmètre Swinburne, et par suite les indications vraies que devait donner cet instrument. Pour chaque voltmètre Swinburne on traçait une courbe de calibrage en prenant pour abscisses les indications de la tête de torsion et pour ordonnées les différences de potentiel réelles aux bornes de l'instrument. Cette courbe était une parabole exacte. Ayant obtenu ce résultat par de multiples expériences avec les quatre voltmètres Swinburne, nous avons adopté pour chaque appareil une constante qui, multipliée par la racine carrée de la lecture sur la tête de torsion donnait la différence de potentiel à l'instrument. Ces constantes étaient déterminées pour chaque instrument avant et après chaque série d'expériences.

4. A la résistance étalonnée dont il vient d'être question on avait ajouté une autre série de bobines semblables, chacune formée de fil de maillechort de 0,27 mm. de diamètre. Chacune de ces bobines avait une résistance d'environ 500 ohms et pouvait être traversée, sans échauffement sensible, par un demi-ampère environ. Ces six bobines devaient servir à la mesure des intensités de courant de la manière suivante :

Les bobines furent placées par deux, quatre ou six en parallèle, et l'on y faisait passer le courant à mesurer. La différence de potentiel aux bornes fut mesurée par un voltmètre Kelvin, en même temps que l'on mesurait par une balance Kelvin les intensités de courant qui produisaient ces tensions, de sorte que le dispositif pouvait servir d'ampèremètre. Tous les autres appareils furent étalonnés et rapportés aux indications de ce dispositif.

La série de résistances mentionnée en dernier lieu sera appelée la série n° 2. Nous avons fréquemment employé les résistances n° 1 et

[1] A moins de mention spéciale, la « différence de potentiel », sans autre indication, sera dans le cours de cette étude la différence de potentiel « efficace ».

n° 2 en série, ce qui nous donnait une résistance non inductive de 12 000 ohms. La résistance n° 1 servait quelquefois à absorber de l'énergie, car en groupant les six bobines en parallèle on obtenait une résistance d'environ 1100 ohms, où l'on pouvait faire passer deux ampères sans échauffement sensible.

II. — *Expériences avec la méthode des trois voltmètres pour la mesure de la puissance.*

5. Deux transformateurs de 5 chevaux furent disposés avec leurs bobines à basse tension en dérivation sur un circuit à 100 volts, et avec leurs enroulements secondaires (2400 volts en

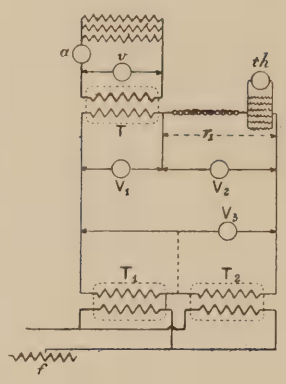


Fig. 3

tension (fig. 3). Le rhéostat *f* permettait de régler le courant primaire et d'obtenir aux bornes des bobines à haute tension tous les voltages jusqu'à 2400 volts.

Dans le diagramme figure 3, T est un transformateur dont il s'agit de mesurer la puissance absorbée; T_1 et T_2 sont les transformateurs de 5 chevaux dont nous venons de parler. Les voltmètres de torsion V_1, V_2, V_3 sont disposés comme le montre la figure; V_1 se trouve aux bornes du transformateur à étudier, V_2 sur une résistance non inductive r_1 en série avec le primaire du transformateur T, et V_3 sert à mesurer le voltage aux bornes extrêmes des transformateurs T_1 et T_2. Dans ces conditions, la puissance P prise par le transformateur T est donnée par la formule

$$P = \frac{1}{2 r_1} \left\{ V_3^2 - V_2^2 - V_1^2 \right\}.$$

Avant d'arriver à des résultats satisfaisants avec cette méthode nous avions plusieurs difficultés à vaincre. En premier lieu, la différence de potentiel V_1 aux bornes du primaire du transformateur à essayer doit toujours être maintenue exactement à la tension normale, c'est-à-dire, dans toutes nos expériences, à 2400 volts. Ensuite, il faut chercher à rendre V_2 égal à V_1, afin de se placer dans les conditions de précision maxima. Enfin, la résistance r_1 doit être pratiquement non inductive, et doit pouvoir être variée de façon à réaliser la condition d'égalité entre V_2 et V_1.

Nous nous sommes placés dans ces conditions en opérant comme suit: Dans les cas où le transformateur T n'avait pas de charge sur son circuit secondaire, et lorsque le courant dans le primaire n'était par conséquent pas trop intense pour la résistance n° 1 de 10 000 ohms, nous nous servions de cette résistance en reliant ses six bobines en série. Nous y ajoutions l'autre résistance en partie ou en totalité, selon les circonstances. Dans d'autres cas, lorsque le transformateur était chargé, nous employions une série de 23 lampes à incandescence de 50 bougies à 100 volts en tension avec la résistance n° 2. En mesurant la chute de potentiel dans cette résistance connue au moyen du voltmètre Kelvin *th*, et la chute de potentiel totale dans les lampes, et cette résistance par le voltmètre V_2, on connaissait à chaque instant la valeur en ohms de cette résistance non inductive.

Pour faire une lecture on faisait varier r_1 jusqu'à ce que V_1 fût aussi près que possible de V_2. Ensuite on agissait sur le rhéostat *f* pour amener V_1 à 2400 volts, valeur que l'on maintenait continuellement. On notait ensuite les indications des voltmètres V_3, V_2 et *th*. Si nous désignons par A la valeur en ampères du courant passant dans le circuit primaire du transformateur T, la valeur de la résistance *r* est déterminée par la différence de potentiel V_3 et le courant A.

On connaît A, puisque le voltmètre *th*, avec sa résistance en shunt, a été étalonné en ampères. Donc, si V_1 est toujours maintenu à 2400 volts, la puissance P absorbée par le transformateur est donnée par la formule

$$P = \frac{A}{2 V_2} \left\{ V_3^2 - 2400^2 - V_2^2 \right\}.$$

Il faut observer que lorsque le transformateur à l'essai est chargé, il faudra effectuer, outre les lectures sur un ampèremètre et un voltmètre pour connaître la charge secondaire, quatre et quelquefois cinq autres mesures simultanées sur des voltmètres, afin d'obtenir une seule valeur de la puissance absorbée. En théorie, rien n'est plus facile que de dire : « soit V une différence de potentiel constante »; mais dans la pratique, et lorsqu'on emprunte l'énergie électrique à un réseau de distribution, cette condition de la constance est très difficile à réaliser, et les expérimentateurs ne peuvent atteindre un résultat satisfaisant qu'au prix d'une attention très fatigante. Nous avons trouvé que la multiplicité des mesures simultanées est un grand inconvénient de la méthode des trois voltmètres. Toutefois, comme nos appareils étaient installés, nous avons appliqué la méthode à la mesure de la puissance absorbée par un certain nombre de transformateurs à circuit secondaire ouvert, et dans quelques cas lorsque le circuit secondaire débitait sur un circuit d'utilisation.

TABLEAU I

Puissance absorbée par différents transformateurs à circuit secondaire ouvert, à la fréquence de 83 périodes par seconde.

Transformateurs	Puissance maxima du secondaire. Watts	Courant d'excitation. Ampères	Volts primaires	Puissance absorbée à vide, en watts					Rapport $\frac{P}{P'}$
				Méthode des trois voltmètres	Méthode des trois ampèremètres.	Méthode du dynamomètre	Wattmètre Swinburne	Puissance apparente P'	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ferranti (type 1885)	1 875	0,18	2416	288	—	—	—	432	0,66
— (type 1885)	3 750	0,337	2400	540	580	549	511	808	0,68
— (type 1885)	7 500	0,25	2435	444	—	—	—	600	0,74
— (type 1885)	11 250	0,34	2447	578	—	—	—	816	0,70
— (type 1885)	15 000	0,57	2389	1019	—	—	—	1368	0,75
— (type 1885, reconstruit)	3 750	0,11	2400	—	—	233	220	264	0,88
— (type 1892)	7 500	0,075	2400	—	—	138	—	180	0,77
— (type 1892)	11 250	0,076	2400	—	—	148	116	182	0,81
— (type 1892)	15 000	0,112	2400	—	—	228	195	269	0,85
— (type 1892, reconstruit)	11 250	0,103	2400	—	—	228	—	247	0,92
Swinburne, « hérisson »	3 000	0,74	2400	112	111	112	74	1775	0,063
Westinghouse	6 500	0,05	2400	93,5	97	95	95	120	0,79
Mordey-Brush	6 000	0,076	2400	126	—	140	106	182	0,77
—	750	0,0317	2392	61,5	—	—	—	76	0,81
Thomson-Houston	4 500	0,083	2400	—	—	108	83	199	0,54
Kapp	4 000	0,145	2400	—	—	152	112	348	0,61

6. Les résultats de quelques-unes de ces observations sont consignés dans la colonne 4 du tableau I, qui réunit les résultats obtenus par différentes méthodes avec des transformateurs sans charge. Dans ce tableau, la première colonne donne la puissance maxima en watts que fournit le transformateur; la seconde donne le courant d'excitation, ou le courant primaire lorsque le secondaire est ouvert; la troisième donne les volts primaires; les quatrième, cinquième, sixième et septième colonnes contiennent les résultats des déterminations de la puissance par diverses méthodes; dans la huitième colonne sont indiqués les watts apparents absorbés par le transformateur sans charge, ou le produit du courant d'excitation par le voltage primaire; enfin, la neuvième colonne donne un rapport que l'on peut appeler le facteur de puissance (power-factor) du transformateur à vide; c'est le rapport des watts vrais aux watts apparents. Si les courants et les forces électromotrices étaient des sinusoïdes simples, le facteur de puissance serait le cosinus de l'angle de décalage entre le courant primaire et la différence de potentiel primaire.

En examinant ces résultats, il faut observer que plusieurs transformateurs étaient construits pour une fréquence de 100, et non de 83 périodes par seconde, et que par suite on ne saurait comparer les résultats sans tenir compte de cette circonstance. Comme exemple d'une série d'expériences avec les voltmètres, les détails

d'observation sur un certain nombre de transformateurs sans charge sont donnés dans le tableau II du mémoire.

A. H.

(*A suivre*).

L'indice de réfraction des rayons électriques dans l'alcool, par H.-O.-G. Ellinger (1).

Dans une première communication j'ai annoncé que j'avais réussi à déterminer l'indice de réfraction de rayons électriques dans l'eau et que la valeur trouvée concordait avec la théorie de Maxwell (2). Par la même méthode il m'a été possible de déterminer l'indice de réfraction de l'alcool (à 96 o/o). Je me suis d'abord assuré que les rayons se propageaient dans l'alcool, en plaçant entre les miroirs paraboliques de Hertz un vase de 1 mètre de hauteur, 1 mètre de longueur et 8 centimètres de largeur et dont le milieu était à 1 mètre au-dessus du sol. Ce vase était entièrement rempli d'environ 80 litres d'alcool et entouré de tous côtés de plaques métalliques.

Ensuite j'ai versé l'alcool dans un récipient en bois, ayant la forme d'un prisme ; sa hauteur était de 1 mètre, sa longueur de 1,15 mètre, son angle de 8° 16', et il contenait environ 90 litres. Des étincelles apparaissaient au miroir secondaire lorsque les deux miroirs formaient entre eux un angle de 33° environ, quand le prisme se trouvait dans la position limite. Cela donne pour l'alcool un indice de réfraction très proche de 4,9, valeur qui répond très bien à la théorie, puisque la constante diélectrique, d'après un grand nombre de déterminations, ne s'écarte que très peu de $4,9^2$.

Au cours de ces recherches j'ai fait les observations suivantes : J'enlevai le conducteur secondaire du miroir et je le plaçai normalement au miroir primaire, les rayons se propageant à travers l'air. On obtint alors facilement des étincelles dans le micromètre à étincelles relié au conducteur secondaire, surtout quand celui-ci était dans le voisinage du plan axial. Mais même en éloignant le conducteur, et en ne laissant exposé aux rayons que le micromètre, des étincelles se produisaient distinctement. Notons que les deux tiges métalliques du micromètre entre lesquelles se formaient les étincelles n'avaient que 7,3 et 4,7 centimètres de longueur. Le micromètre se trouvait au niveau des étincelles primaires. L'inducteur était actionné par quatre éléments Bunsen.

A. H.

(1) *Wiedemann's Annalen*, 1893, n° 1, p. 108.
(2) *La Lumière Electrique*, t. XLV, p. 337.

Sur une théorie électrolytique des diélectriques, par A.-P. Chattock.

On sait que les phénomènes de piézo-électricité et de pyro-électricité présentés par certains cristaux sont facilement explicables par un déplacement d'électricité le long des axes. On peut concevoir la production de ce déplacement soit par une séparation des électricités de noms contraires dans les molécules ou atomes du cristal normalement à l'état neutre, soit par le mouvement relatif de deux chaînes de molécules primitivement chargées d'électricités de noms contraires.

Dans l'état actuel de nos connaissances, la

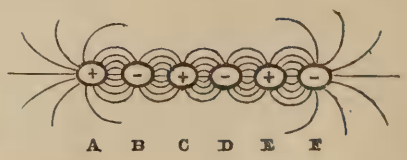


Fig. 1

première hypothèse n'est qu'un expédient pour ne pas avouer notre ignorance, car jusqu'ici aucun mécanisme n'a été proposé pour rendre compte de la polarisation des molécules ou atomes sous l'influence de la pression ou de la chaleur. Au contraire, la seconde conduit non seulement à l'explication des phénomènes de piézo et pyro-électricité, mais encore, par une extension logique, à une théorie des diélectriques homogènes. C'est l'exposé de cette théorie que l'auteur a principalement en vue dans son mémoire, et bien qu'elle ne nous paraisse pas à l'abri de toute critique, elle présente assez d'intérêt pour mériter d'être résumée.

Considérons une série de molécules égales A, B, C,.... (fig. 1), possédant des charges électriques égales et alternativement de signe contraire. Ces molécules s'attirent mutuellement et, abandonnées à elles-mêmes, viennent au contact ; elles forment alors une chaîne analogue à un aimant linéaire et leur action en tout

point extérieur se réduit à celle de deux masses égales et de signe contraire situées aux extrémités de la chaîne, chacune de ces masses étant à peu près égale à la moitié de la charge d'une molécule.

Imaginons maintenant que ces molécules aient une tendance à se repousser mutuellement. La chaîne s'allongera, mais non d'une manière uniforme. Les molécules tendront à s'accoupler deux à deux, A avec B, C avec D, etc.; si la force répulsive est grande cet accouplement sera complet, la chaîne sera rompue et les molécules se mouvront par groupes de deux. Si la force répulsive n'est pas assez puissante, l'accouplement ne sera que partiel; en d'autres termes les molécules A et B, C et D, etc. seront plus rapprochées entre elles que les molécules B et C, D et E, etc. Par conséquent le nombre de lignes de force émanant de A et aboutissant sur B sera plus grand qu'auparavant, tandis que le nombre de celles qui traversent l'espace et produisent les effets extérieurs sera plus petit. Les masses électriques dont l'action extérieure est égale à celle de la chaîne seront donc plus petites qu'auparavant. En d'autres termes, la chaîne possèdera moins d'électricité libre à ses extrémités que primitivement; elle n'en posséderait plus si l'accouplement des molécules était complet.

Telles sont les hypothèses de l'auteur. Il est évident qu'elles permettent d'expliquer immédiatement les phénomènes pyro-électriques. Il suffit de supposer que les cristaux présentant ces phénomènes sont formés de chaînes moléculaires, comme celle que nous venons de considérer, orientées suivant l'un des axes cristallographiques. Les molécules se trouveraient en contact au zéro absolu de température, et toute élévation de température aurait pour effet d'augmenter la force répulsive des molécules. Les charges électriques libres des extrémités du cristal diminueraient ainsi comme le veut l'expérience et cesseraient d'exister quand le cristal se trouverait à sa température de vaporisation, les molécules se mouvant alors par paires.

L'explication de la piézo-électricité est aussi évidente; une pression sur le cristal, en rapprochant les molécules, augmentera les charges libres; une tension, au contraire, diminuera ces charges. Toutefois, il faut bien remarquer qu'une augmentation des charges ne doit théoriquement correspondre à une pression que si celle-ci est effectuée suivant la direction des chaînes moléculaires. Une pression exercée dans une direction perpendiculaire peut parfaitement avoir pour conséquence une diminution des charges libres. La théorie n'est donc pas en contradiction avec l'expérience qui montre qu'une pression peut donner lieu à une augmentation ou une diminution des charges libres, suivant sa direction.

Suivant l'auteur, l'exactitude de cette théorie est confirmée par cette conséquence que les charges des molécules sont de l'ordre de grandeur des charges des ions dans le phénomène de l'électrolyse. Voyons comment il arrive à cette conséquence.

Soit q la charge d'une molécule. Quand les molécules sont au contact, la charge libre aux extrémités de chaque chaîne est approximativement $\frac{q}{2}$ en valeur absolue. Par conséquent si n est le nombre de molécules par centimètre carré, la densité superficielle des charges qui se trouvent aux extrémités du cristal quand les molécules de chaque chaîne sont en contact a pour valeur $n\frac{q}{2}$. En appelant ρ cette densité on a donc

$$\rho = \frac{nq}{2} \quad \text{d'où} \quad q = \frac{2\rho}{n}.$$

Il est évident qu'il est impossible de déterminer expérimentalement ρ. Toutefois, il est possible d'en avoir une valeur par défaut en remarquant que cette quantité est également la variation de la densité superficielle quand le cristal passe de l'état dans lequel les molécules sont au contact à celui dans lequel la chaîne de molécules est rompue, soit par rupture mécanique du cristal, soit par volatilisation de la substance.

Prenons en effet les phénomènes de piézo-électricité. Les expériences de MM. J. et P. Curie [1] ont fait connaître pour quelques cristaux la constante piézo-électrique k, c'est-à-dire la variation de la densité superficielle pour une variation de un dyne. Par conséquent, si cette constante était indépendante de la pression et

(1) *Philosophical Magazine*, t. XXXIV, p. 461-481; décembre 1892 et t. XXXV, p. 76, janvier 1893.

(1) *Comptes rendus*, t. XCIII, p. 204 (1881).

si on connaissait la pression nécessaire pour amener les molécules d'un cristal en contact, le produit de cette constante par k donnerait la variation de la densité superficielle quand le cristal passe de l'état dans lequel ses molécules sont au contact à celui où il se trouve dans les conditions ordinaires, c'est-à-dire une quantité un peu plus petite que ρ.

Or, cette pression peut être calculée. La théorie moléculaire des corps indique que le volume occupé par les molécules d'un corps solide n'est que 1/4 ou 1/5 du volume occupé par le corps lui-même; admettons que ce rapport est $\frac{1}{4,5}$. Si nous prenons un cube de 1 centimètre de côté d'un solide, et si nous comprimons deux faces opposées jusqu'à ce que les molécules des chaînes normales à ces faces soient au contact, la longueur des arêtes comprimées sera raccourcie de $1 - \sqrt[3]{\frac{1}{4,5}}$. Par conséquent si nous appelons M le module de Young, c'est-à-dire la force en dynes qu'il faut exercer par centimètre carré pour réduire la longueur de l'unité, la force qu'il faudrait exercer sur les deux faces du cube considéré pour amener les molécules au contact, est

$$\left(1 - \sqrt[3]{\frac{1}{4,5}}\right) M = 0,4\ M.$$

Si on connaissait la tenacité T du cristal, c'est-à-dire la tension par centimètre carré nécessaire pour rompre le cristal et par suite les chaînes moléculaires, on aurait pour valeur approximative de ρ,

$$\rho = (0,4\ M + T)\ k.$$

Mais on peut parfaitement négliger T et ne considérer que le produit 0,4 M k. Quelques considérations développées par l'auteur semblent montrer que M et k varient en sens contraire quand la pression augmente, de sorte que le produit Mk doit rester sensiblement constant, et qu'il est permis d'en calculer la valeur en prenant pour M et k les valeurs obtenues dans les conditions ordinaires des expériences. Admettons-le sans discussion.

Pour la tourmaline, $M = 1,3 \times 10^{12}$, d'après M. Mallock, et $k = 5,4 \times 10^{-8}$, d'après MM. J. et P. Curie; par conséquent,

$$0,4\ M\ k = 2,8 \times 10^{4} < \rho.$$

Il ne reste plus qu'à connaître n. Divers phénomènes optiques et capillaires conduisent à penser que la distance moyenne entre les centres de deux molécules est $\frac{1}{2}\ 10^{-8}$: par suite le nombre de molécules par centimètre carré serait

$$n = \frac{1}{\left(\frac{1}{2} \times 10^{-8}\right)^2} = 4 \times 10^{16},$$

On aurait donc, en définitive,

$$q > \frac{2 \times 2,8 \times 10^{4}}{4 \times 10^{16}} = 1,4 \times 10^{-12}\ \text{U. E. S.}$$

Or cette valeur concorde avec la charge ionique [1] de l'oxygène, qui est à peu près 1×10^{-11}.

J. B.

(*A suivre.*)

---

[1] La charge ionique de l'hydrogène peut être facilement obtenue comme il suit :

On sait que dans l'électrolyse de l'eau un coulomb met en liberté $1,0415 \times 10^{-5}$ gramme d'hydrogène. Un coulomb valant 3×10^{9} unités électrostatiques de quantité d'électricité, une de ces unités mettra en liberté un poids d'hydrogène

$$\frac{1,0415 \times 10^{-5}}{3 \times 10^{9}} = \frac{1,0415}{3} \times 10^{-14}.$$

Le litre d'hydrogène pesant 0,0898 gr. dans les conditions normales, le poids d'un centimètre cube est $8,98 \times 10^{-5}$. Par suite, pour mettre en liberté un centimètre cube d'hydrogène il faut une quantité d'électricité

$$\frac{8,98 \times 10^{-5}}{\frac{1,0415}{3} \times 10^{-14}} = \frac{26,94}{1,0415} \times 10^{9}.$$

Or la distance moyenne des molécules étant, dans un gaz, $\frac{1}{5,3 \times 10^{-8}}$, le nombre de molécules contenues dans un centimètre cube est

$$\frac{1}{5,3^3 \times 10^{-24}}.$$

Par conséquent la charge convoyée par chaque molécule d'hydrogène est

$$\frac{26,94 \times 10^{9}}{1,0415} \times 5,3^3 \times 10^{-24} = 4 \times 10^{-12}.$$

Quant à la charge ionique de l'oxygène, il est aisé de la déduire de la précédente. En effet, quand un centimètre cube d'hydrogène est mis en liberté à la cathode, un demi-centimètre cube d'oxygène est mis en liberté à l'anode. Or, on admet que sous le même volume deux gaz ont le même nombre de molécules. Par conséquent, chaque molécule d'oxygène doit avoir une charge double de chaque molécule d'hydrogène. Donc la charge ionique de l'oxygène est 8×10^{-12}, ou à peu près 1×10^{-11}.

FAITS DIVERS

Parmi les prix décernés par l'Académie des Sciences dans sa séance du 19 décembre 1892, nous noterons les suivants qui intéressent plus particulièrement les électriciens :

PRIX MONTYON (*Mécanique*).

Commissaires : MM. Boussinesq, Léauté, Resal, Sarrau; Maurice Lévy, rapporteur.

La Commission décerne le prix de Mécanique de la fondation Montyon à M. N.-J. Raffard, ingénieur civil, ancien élève de l'Ecole des Arts et Métiers d'Angers, pour l'ensemble de ses inventions, et particulièrement pour sa balance dynamométrique et son accouplement élastique, qui rendent de grands services à l'industrie.

La balance dynamométrique de M. Raffard remplace avec une grande supériorité, comme exactitude et comme facilité d'emploi, le célèbre frein de Prony. Déjà M. Carpentier avait imaginé un frein automatique qui constituait sur celui de Prony un grand perfectionnement. Mais le frottement du frein y était équilibré par la *différence* de deux poids, l'un et l'autre très grands, occasionnant, par suite, des résistances passives considérables et de nature à fausser sensiblement les résultats fournis par l'appareil.

M. Raffard a très heureusement complété l'invention de M. Carpentier en supprimant à peu près complètement l'inconvénient dont nous venons de parler. Son appareil est d'ailleurs simple, élégant et d'un emploi très commode.

L'attelage élastique qui lui appartient complètement résout le problème très difficile de relier deux arbres en prolongement géométrique l'un de l'autre, à l'aide de liens élastiques, de façon à supprimer ou atténuer considérablement la transmission d'un choc de l'un à l'autre. Cet attelage est notamment très utile pour la connexion des machines dynamo-électriques avec les organes qu'elles doivent actionner ou la machine motrice qui les actionne. En cas d'accident dans celle-ci, tel que la rupture d'une tige de tiroir, les liens élastiques se rompent et la dynamo continue son mouvement, tandis qu'elle serait perdue, étant obligée à un subit renversement de marche, si elle était attelée par lien rigide.

M. Raffard a imaginé ou perfectionné bien d'autres appareils. L'un des premiers il a fait des expériences de traction électrique par accumulateurs. Depuis 1874, il est ingénieur-conseil de la maison Breguet, où il rend, sans bruit, des services journaliers.

On ne pouvait mieux appliquer le prix Montyon qu'en le décernant à ce travailleur aussi modeste qu'ingénieux et doué de sens pratique.

PRIX GAY

Commissaires : MM. Mascart, Lippmann, Potier, Fizeau ; Cornu, rapporteur.

Le sujet proposé était l'étude du magnétisme terrestre et en particulier de la distribution des éléments magnétiques en France.

Sur cette question, la commission a reçu un travail important qu'elle a examiné avec le plus grand intérêt.

L'auteur, M. Moureaux, météorologiste-adjoint chargé du service magnétique à l'observatoire du Parc Saint-Maur, commence par un résumé sommaire, mais très substantiel, de l'état de nos connaissances relatives au magnétisme terrestre sur toute l'étendue du globe et des modifications subies sur les divers éléments magnétiques dans la suite des temps, depuis les premières observations. La partie principale du Mémoire est relative à l'étude détaillée du magnétisme de la France : c'est l'œuvre personnelle et originale de M. Moureaux.

Chargé en 1884 et 1885 par notre savant confrère, M. Mascart, directeur du Bureau central météorologique, de construire les cartes relatives à la déclinaison, l'inclinaison et la composante horizontale, M. Moureaux, muni des appareils portatifs construits par M. Brunner, rapporta les observations complètes faites en 65 stations, réparties sur toute l'étendue du territoire. Les observations, faites avec un soin extrême, offraient des concordances remarquables avec celles de Lamont (1856-1857) et du P. Perry (1868-1869) ; elles permirent de construire les cartes qui parurent l'année suiuante dans les *Annales du Bureau central météorologique*.

Le haut degré d'exactitude obtenu couramment dans ces déterminations en campagne ne provient pas seulement de l'excellence des instruments et de l'habileté de l'observateur, mais encore du soin déployé par M. Moureaux à choisir les stations ainsi que les moments favorables à l'exactitude des mesures et à la sûreté des corrections : les mesures, en effet, pour être comparables, doivent être rapportées à une époque moyenne déterminée et se trouver affranchies des variations incessantes du magnétisme terrestre; chacune d'elles nécessite donc une correction ou réduction à l'époque moyenne, qu'on obtient par comparaison avec les observations similaires des appareils enregistreurs installés à l'observatoire du Parc Saint-Maur. M. Moureaux, dans son Mémoire, a soin de justifier ce mode de correction en faisant ressortir le parallélisme remarquable des courbes enregistrées au Parc Saint-Maur et à Perpignan, et l'identité des corrections obtenues en partant des résultats de l'un ou l'autre de ces observatoires. On est ainsi assuré que, dans toute l'étendue de la France, les variations normales (en dehors des orages magnétiques) des éléments observés sont sensiblement égales et peuvent être calculées, à chaque instant et à chaque station, d'après les données de l'observatoire du Parc Saint-Maur.

Les cartes précitées, construites d'après ces soixante-

cinq points, avaient permis d'obtenir pour toute la France chacun des éléments magnétiques en adoptant l'hypothèse généralement admise d'une distribution régulière du magnétisme. La comparaison des valeurs calculées d'après ces cartes avec les observations directes montre en certains points (particulièrement en Bretagne et à Chartres) des écarts supérieurs aux erreurs de mesure. M. Moureaux fit part de ces difficultés à M. Mascart, qui n'hésita pas, connaissant l'habileté et la conscience de l'observateur, à y voir l'indication de phénomènes intéressants nécessitant une étude approfondie. Les observations faites à Chartres en 1885 furent alors reprises en 1888 et 1889 : les trois séries obtenues en trois points différents des environs de la ville étaient parfaitement concordantes et ne laissaient aucun doute sur l'existence d'une anomalie magnétique dans cette partie de la Beauce.

Afin de rechercher l'étendue de cette anomalie, M. Moureaux opéra dans le voisinage de toutes les stations du chemin de fer situées entre Paris et Nogent-le-Rotrou ; les résultats, ramenés à une même époque, établissaient nettement ce fait inattendu que la déclinaison, au lieu d'augmenter régulièrement vers l'ouest, comme la Carte d'ensemble le faisait supposer, passe par un maximum vers Trappes et Chevreuse, diminue ensuite d'environ 0°,5 jusqu'à Épernon et ne reprend sa variation normale avec la longitude qu'aux environs du Mans. Les autres éléments magnétiques présentent également, dans cette région, des troubles de même ordre.

Dans ces conditions, le tracé des lignes isomagnétiques ne pouvait être entrepris qu'après une étude minutieuse de la région troublée : elle fut faite en 1890 et étendue successivement en 1891 et 1892 à toute la moitié septentrionale de la France. Ce grand travail, comprenant déjà 357 stations, sera terminé dans deux ans pour toute la France, grâce à l'activité infatigable de M. Moureaux.

Les résultats déjà obtenus sont aussi intéressants qu'inattendus : on constate déjà trois groupes principaux d'anomalies : l'un en Bretagne ; le second, sur la frontière du nord et de l'est ; le troisième et le plus singulier comprend le bassin de Paris : il a été suivi au sud jusqu'à Moulins : il paraît se prolonger à travers la Manche jusqu'en Angleterre, où des observations récentes viennent de le mettre hors de doute.

Nous n'insisterons pas sur l'intérêt de ces résultats, qui sont figurés sur les cartes détaillées que publient en ce moment les *Annales du Bureau central météorologique*, et dont on trouvera une réduction dans l'*Annuaire du Bureau des longitudes* pour 1893. Mais la Commission désire faire ressortir, en terminant, les qualités éminentes déployées par M. Moureaux dans l'œuvre qu'il a entreprise et qu'il continue avec tant d'ardeur : on reconnaît à la lecture de ce Mémoire, un observateur de premier ordre, ayant à la fois le respect scrupuleux de ses résultats numériques et la conscience de leur exactitude : aussi, dès le début, n'a-t-il pas cru devoir négliger ou passer sous silence des écarts qu'il croyait notablement supérieurs aux erreurs de lecture. Il en a été récompensé par la découverte d'une perturbation permanente que personne n'avait soupçonnée avant lui et qui paraissait bien improbable dans un pays plat, n'offrant aucun indice géologique ou minéralogique d'action sur l'aiguille aimantée : l'étude qu'il en a faite peut être considérée comme un modèle.

En conséquence, la Commission a décidé, à l'unanimité, de décerner à M. Moureaux le prix Gay pour l'année 1892.

De même que les stations centrales d'électricité, les filatures exigent une grande régularité de toutes les machines et par conséquent du moteur qui les actionne.

Engineering décrit une machine à vapeur de 1600 chevaux construite pour une filature de Saint-Pétersbourg, et qui est établie de façon à satisfaire à cette condition de régularité de la vitesse sous toutes les charges.

Le volant est animé d'une très grande vitesse à la périphérie, de sorte qu'on peut empêcher toute variation perceptible pendant que le volant fait un tour complet. De plus, pour maintenir constant le nombre de tours par minute, le moteur est muni d'une disposition de réglage de Knowles, qui agit en auxiliaire du grand régulateur ordinaire. En outre, le tiroir principal de distribution de la vapeur peut être arrêté par un mécanisme électrique qui peut être mis en action d'un grand nombre de points de l'usine.

Le volant a un diamètre de 9,76 m. et pèse 84 tonnes. Le poids total de la machine est de 213 tonnes.

Les *Inventions nouvelles* rapportent des observations faites en 1890 et 1891, aux environs de Vienne, sur la force motrice du vent. La vitesse moyenne du vent a été de 5,1 mètres par seconde en 1890 et de 4,9 en 1891. La vitesse de 6,94 mètres par seconde a eu lieu en 1890 pendant 07 heures en moyenne ; et en 1891, pendant 178 heures ; des vitesses comprises entre 5,56 et 6,94 mètres par seconde ont été observées en 1890 pendant 71 heures, et en 1891 pendant 60 heures. On a calculé le travail développé par le vent sur trois types de moteurs ayant respectivement 8,4 ; 35,7 et 220 mètres carrés de surface. Ce travail a été pour les trois types de moteurs de 263 454 ; 1 121 693 et 6 974 511 kilogrammètres en 1890, pendant les 3341 heures d'observation.

Pour l'utilisation de la force du vent, un inventeur allemand propose de remplacer les moteurs verticaux, dont le rendement est faible, par des moteurs horizontaux. Son moteur ressemble à un manège formé d'un chemin de fer circulaire, à plusieurs voies, d'un kilomètre de longueur environ. Sur cette ligne circuleraient des wagons munis d'ailes placées à 45° les unes par rapport aux autres et ayant la forme de voiles qui oppose-

raient de la résistance au vent et opéreraient la translation du wagon.

La Compagnie des tramways et omnibus de Lyon vient de décider définitivement la transformation en traction électrique de la traction animale sur la ligne de Lyon à Oullins. A cet effet, elle vient de signer avec la Compagnie Thomson-Houston un contrat pour la construction de cette ligne avec emploi du fil aérien.

La ligne est de 6 kilomètres de longueur; elle part de la place de la Charité, suit le long du Rhône, traverse la Mulotière et se termine à Oullins. Les rampes ne sont pas très fortes; il y en a de 3,5 o/o, mais elles ont peu de longueur; dans la ville de Lyon, la voie est en palier. D'après *Sciences et Commerce*, six voitures motrices ou huit au maximum seront en service; dans certaines circonstances, d'autres voitures seront remorquées par les voitures motrices.

La station génératrice comprendra deux chaudières multitubulaires, deux machines à vapeur de 150 chevaux et deux dynamos Thomson-Houston du type bien connu employé pour les tramways. Les machines à vapeur sont horizontales, du type Mac Intosh et Seymour, tournant à 200 tours par minute; elles sont munies de deux volants très lourds. La variation de vitesse entre pleine charge et marche à vide est inférieure à 2 o/o; elles peuvent également être surchargées, pendant quelques instants, d'une manière considérable.

Les voitures seront munies de deux moteurs transmettant leur mouvement aux essieux au moyen d'engrenages à simple réduction de vitesse. Ces engrenages en acier sont enfermés dans une boîte remplie d'huile; quant aux moteurs, des caisses en fonte les protègent contre l'eau, la boue et les chocs.

La prise du courant se fera au moyen du trolley. Le fil est aérien et la suspension transversale sera adoptée pour la plus grande partie du parcours. Dès que les autorisations seront obtenues, les travaux commenceront.

Les explosions de charges de dynamite suspendues dans les airs à l'aide de ballons captifs, et enflammées par l'électricité ont continué en Amérique dans le but de provoquer la chute de la pluie On avait commencé à les exécuter à Washington, dans le voisinage du Bureau central, mais les habitants se sont plaints du fracas formidable se produisant pendant des heures entières, à intervalles réguliers de 8 1/2 ou 15 minutes. On a obligé les expérimentateurs à repartir pour le Texas, où les habitants paraissent avoir l'ouïe moins délicate. En effet, le général Dyrenforth ayant épuisé les fonds que le congrès avait mis à sa disposition, les habitants de cet état ont fait une souscription publique qui a produit une trentaine de mille francs.

Les expériences du Texas ont eu lieu sous la direction d'un physicien du Bureau central, qui constate que souvent la chute d'une certaine quantité de pluie a suivi de très près les explosions, mais quelquefois il n'est pas tombé d'eau, quoique les avis rédigés en prévision du temps indiquassent des probabilités de chute d'eau.

En conséquence, tout porte à croire que l'on a fait *beaucoup de bruit pour rien*, ce qui était probable, mais cependant valait la peine d'être constaté.

On annonce la constitution à Rome d'une société pour la recherche des objets de valeur engloutis dans la mer. Cette société a fait construire un bateau sous-marin ayant une hélice mue par l'électricité, et, de droite et de gauche, deux réflecteurs électriques. Il paraîtrait que cet engin a une provision d'air pour 48 heures et qu'il peut rester un jour entier par 80 mètres sous l'eau.

Ce bateau, l'*Audace*, a été soumis récemment à des expériences qui n'ont malheureusement pu être terminées, par suite d'un accident arrivé à l'un des fils de l'ingénieur, M. Legli Abatti, qui avait eu un doigt coupé dans un engrenage.

Le 27 janvier, à l'occasion de l'inauguration d'une pierre commémorative de l'ascension d'un ballon du siège, M. Janssen, aéronaute du *Volta*, a prononcé un remarquable discours à la gare du Nord. Le célèbre astronome a été conduit à résumer brillamment l'histoire des quatre ballons qui ont été poussés en mer par le caprice des vents.

Deux de ces derniers ont été perdus corps et biens, entre autres le *Richard Wallace*, dont on célébrait le départ. Deux ont été sauvés miraculeusement, l'un par une descente à Belle-Isle, et l'autre au mont Bid, en Norvège. Les deux voyageurs aériens qui étaient à bord de ce dernier ont raconté avoir observé une aurore boréale de plus près qu'on ne le fait ordinairement. Ils ont ajouté qu'ils avaient entendu en même temps des bruits dont les phénomènes lumineux étaient accompagnés.

Cette observation singulière, qui serait très importante surtout si elle était réitérée, a fait l'objet d'une note présentée à l'Académie des sciences en 1878 par Antoine-César Becquerel. Elle serait une confirmation précieuse de l'opinion qui gagne chaque jour du terrain et qui attribue ces beaux phénomènes à des décharges de l'électricité atmosphérique.

Eclairage électrique.

Il vient d'être créé, sous le titre *Bulletin de la Fédération des consommateurs du gaz et d'électricité*, un organe bimensuel, destiné à propager les revendications impliquant l'abaissement du prix du gaz et de l'électri-

cité et l'amélioration des conditions de leur fourniture dans le sens des résolutions du Congrès national de Lyon des 27 et 28 novembre 1892.

Sciences et Commerce relatent les conditions curieuses dans lesquelles a été construite la station centrale de Bucamaranga, petite ville de la République colombienne.

L'usine est située dans une région montagneuse, difficilement accessible, à 4 kilomètres de la ville, où l'on utilise une chute de la rivière Surata. Pour transporter les machines et les matériaux de construction aucun véhicule ne pouvait être employé, car les routes sont impraticables On divisa les pièces, et on chargea les plus grosses sur des bœufs et les petites sur des mulets. On employa une cinquantaine de bœufs et deux cents mulets. Pour la construction de l'usine, on ne pouvait trouver dans le pays des maçons connaissant leur métier, et ce furent les ouvriers électriciens qui édifièrent le bâtiment; les pierres étaient prises sur place. Après un an et demi de travail la station et la ligne étaient terminées et l'éclairage électrique inauguré en novembre dernier.

Le système employé est le système Thomson-Houston à courants alternatifs; les machines sont compoundées pour 20 o/o de perte; elles peuvent alimenter 1 300 lampes de 16 bougies. Pour l'éclairage des rues, il y a une machine à arc de 30 lampes de 1 200 bougies, et on a installé une distribution de force motrice de 20 chevaux.

Dans la séance du Conseil municipal du 13 décembre dernier, M. Grébauval a déposé la proposition suivante:

Le Conseil,

Considérant que l'usine municipale d'électricité des Buttes-Chaumont est située dans des conditions qui permettent d'en faciliter à peu de frais le développement;

Considérant l'intérêt qu'il y a, pour la ville de Paris, à utiliser un établissement en pleine prospérité, en même temps qu'un vaste terrain sans emploi;

Considérant que les critiques adressées à l'usine des Halles, créée dans un sous-sol, ne peuvent s'appliquer à cette autre usine, édifiée en plein air;

Considérant l'avantage de cette extension tant au point de vue de l'expérience loyale d'organisation du service public d'éclairage, qu'à celui de la diffusion de la lumière électrique dans les XIXe, XXe, XIe et XIIe arrondissements,

Délibère:

L'administration est invitée à préparer l'agrandissement de l'usine municipale électrique des Buttes-Chaumont, pour utilisation du domaine communal, éclairage public et privé, et création d'un établissement type établi dans les meilleures conditions financières, industrielles et hygiéniques.

Cette proposition a été renvoyée à la troisième commission.

Si l'on veut éviter les errements expérimentés à l'usine des Halles, il conviendra de confier l'établissement de la nouvelle usine à des ingénieurs électriciens, et surtout d'en mettre la direction entre les mains d'un électricien compétent.

Au mois de novembre dernier s'est réuni à Lyon un congrès national des villes gazières de France. Ce congrès devait discuter les questions économiques relatives aux divers modes d'éclairage, surtout au point de vue des consommateurs.

Parmi les vœux émis nous remarquons le suivant: Que, bien que l'électricité présente des avantages très supérieurs à ceux du gaz, les municipalités ne créent en faveur de l'électricité ni monopole ni privilège, mais facilitent l'installation d'usines électriques pour obliger les compagnies du gaz à diminuer leurs prix.

C'est-à-dire que dans l'esprit généreux des congressistes les électriciens doivent tirer les marrons du feu au grand profit de MM. les consommateurs de gaz.

Nous avons annoncé l'installation de l'éclairage électrique à l'église Saint-Etienne, de Vienne. Or, il paraît que le comité d'architecture de ce monument n'aurait été prévenu de cette installation qu'au dernier moment Il a décidé de supprimer l'éclairage électrique pour des raisons « liturgiques, esthétiques et pratiques ». Une des raisons pratiques citées est l'éventualité de la chute d'une tuile pouvant rompre un conducteur, donner des étincelles, provoquer un incendie, etc. Grands amis du progrès, ces messieurs du comité d'architecture!

Télégraphie et Téléphonie.

Une formidable tempête survenue la semaine dernière en Égypte a rompu les câbles télégraphiques entre Alexandrie et Malte, et Alexandrie et Port-Saïd. Les fils entre Alexandrie et le Caire sont presque totalement détruits, mais un câble direct fonctionne encore avec Malte.

L'Eastern Telegraph Company a annoncé dès le 26 janvier que les lignes égyptiennes étaient déjà complètement réparées, la communication télégraphique avec l'Égypte et les Indes se trouvant ainsi rétablie.

Le brevet anglais du transmetteur téléphonique Crossley est expiré depuis le 1er février.

Imprimeur-Gérant : V. Nory.

Imprimerie de La Lumière Électrique. — Paris
31, boulevard des Italiens.

La Lumière Électrique

Journal universel d'Électricité

31, Boulevard des Italiens, Paris

DIRECTEUR : Dr CORNÉLIUS HERZ

XVe ANNÉE (TOME XLVII) SAMEDI 11 FÉVRIER 1893 N° 6

SOMMAIRE. — Applications mécaniques de l'électricité; Gustave Richard. — Self-induction et capacité; F. Guilbert. — La station centrale de Dessau; G. Pellissier. — Sur les mouvements vibratoires dans un milieu isotrope; Clavenad. — Chronique et revue de la presse industrielle : Les moteurs à gaz dans l'éclairage électrique, par M. E. Dowson. — Blanchiment de la tourbe, procédé Cannot. — Relais télégraphique Safford. — Téléphone domestique Anders et Kottgen. — Anti-inducteur pour tableaux multiples Scribner. — Frein électromagnétique De Bovet. — Revue des travaux récents en électricité : Société internationale des électriciens (séance du 1er février 1893). — Recherches expérimentales sur les transformateurs à courants alternatifs, par M. J.-A. Fleming. — Sur une théorie électrolytique des diélectriques, par A.-P. Chattock. — Variétés : Le caoutchouc du Haut-Orénoque. — Faits divers.

APPLICATIONS MÉCANIQUES

DE L'ÉLECTRICITÉ (1)

Nous avons déjà entretenu plusieurs fois nos lecteurs de l'application de l'électricité à l'actionnement des machines à écrire (2). Nous reprenons aujourd'hui ce sujet à propos des remarquables appareils de *MM. Neal et Eaton*, bien que leur description soit forcément longue et difficile à suivre, malgré la multiplicité des dessins très complets mis à notre disposition.

L'objet que se sont proposé MM. Neal et Eaton est la construction d'une machine à écrire aussi simple que possible, ayant, le même aspect général que les machines ordinaires, et pouvant fonctionner à volonté comme appareil télégraphique ou comme simple machine à écrire.

Dans cette machine, le secteur des types a^8 (fig. 12) est porté (fig. 5) par un bras a^9, calé à rainure sur l'axe a^7, et qui monte ou descend sur cet axe sous l'action des électro-aimants a^{14} a^{15} a^{16} (fig. 5 et 16), dont chacune des armatures a^{17} a^{18} a^{19} est relié (fig. 1 et 5), par un renvoi a^{20} a^{21} a^{26}, à la douille a^{28}, folle sur l'axe a^7. Cet axe porte, calé sur lui et isolé, un bras b, mobile entre deux butées a^{50} et a^{51} (fig. 13) sur une série de touches a^{52} d'un plateau fixe a^{53}, en nombre égal à celui des rangées de caractères du secteur des types moins un (11 — 1 au cas actuel), et correspondant à ces rangées, sauf celle du milieu (fig. 12). En outre, afin de réduire au minimum le nombre des électro-aimants nécessaires pour le fonctionnement de ces touches, elles sont (fig. 7) conjuguées deux à deux et symétriquement par des bras b_7, qui se posent chacun, par des poinçons b_9, sur l'extrémité d'un levier b_{10}, relié par la bielle b_{13} à l'armature b^{14} de l'électro-aimant correspondant b^{17} (fig. 5). Ainsi, à chaque coup d'un électro-aimant, deux touches se lèvent; mais le bras des types b n'en rencontre qu'une seule dans sa rotation.

L'axe des types b_7 est commandé (fig. 8) par les armatures b^{23} et b^{24} des électro-aimants b^{25} b^{26} au moyen des engrenages amplificateurs b^{27} b^{28} b^{22} et b^{33}.

L'impression des types se fait au moyen du marteau b_{34} (fig. 2 et 3) commandé par l'armature b^{36} de l'électro-aimant imprimeur b_{37}. Le ruban encreur b^{39} se déroule devant la roue des types des bobines b^{40} b^{41}, dont les arbres b_{42} sont commandés par des trains à vis sans fin b_{44} b_{45} (fig. 3) au moyen du cliquet b_{48} de l'électro-

(1) *La Lumière Electrique*, 14 janvier 1893, p. 6.

(2) *Mac Langlois*, 15 oct. 1888, p. 57; *Reed*, 9 juil., 29 oct. 1892, p. 63, 213.

aimant imprimeur, qui l'avance ainsi d'une dent après la frappe d'un caractère par le marteau b_{34}.

Le chariot c, qui roule sur les galets c_5, est pourvu (fig. 4) d'une crémaillère c^6, en prise avec le pignon c_9 d'un tambour à ressort de rappel c_{10}. Il entraîne avec lui le rouleau à papier c_{12}. Ce papier est entraîné par des rouleaux c_{17} (fig. 6) dont l'arbre c_{19} a son rochet mené par un rochet repoussé à chaque rappel du chariot par le plan incliné fixe c^{25}, dont on peut ajuster la hauteur de manière à régler à volonté la largeur de l'interlignage.

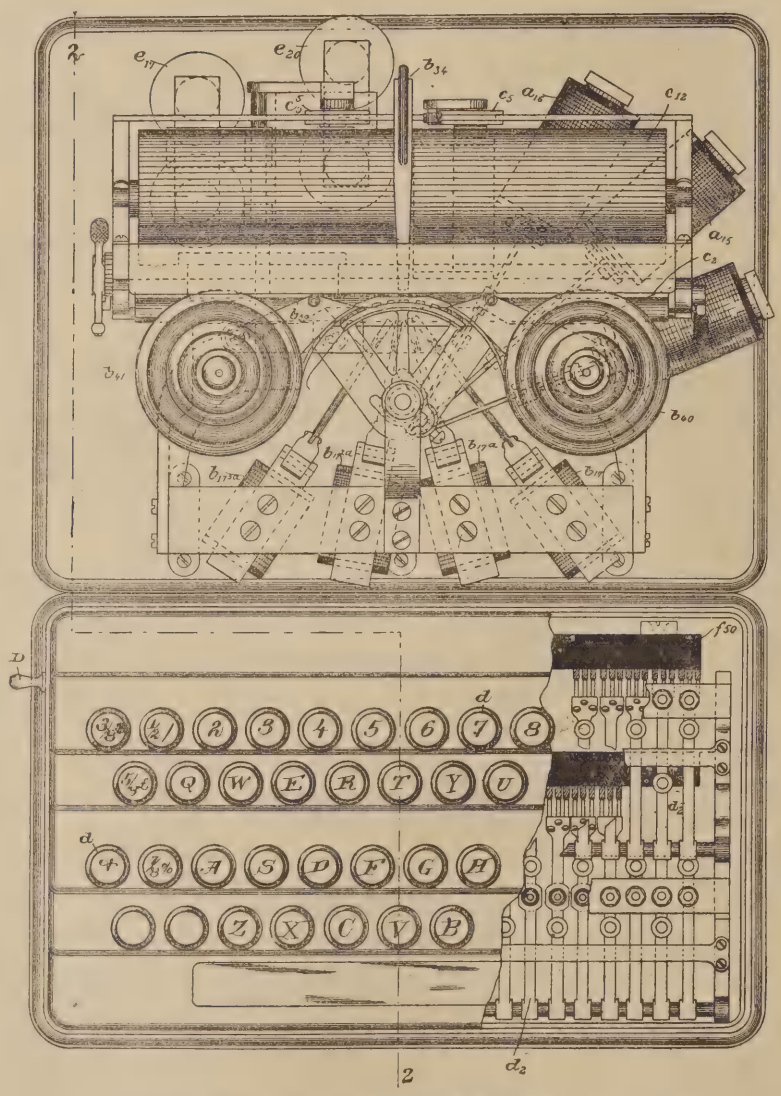


Fig. 1. — Machine électrotypique Neal et Eaton. Plan (1892).

Le clavier présente (fig. 1 et 2) l'aspect ordinaire de celui des machines à écrire, et sa boîte renferme un commutateur D, qui permet de transformer l'appareil de transmetteur en récepteur, et réciproquement. Ce commutateur consiste en une barre métallique d^{13}, mobile sur les guides isolants d_{11}, et pourvue (fig. 16) de touches isolantes d^{17} correspondant aux divers électro-aimants de l'appareil, ainsi que d'un contact d^{18}, dont nous verrons plus bas la fonction.

Ainsi que l'indique le schéma figure 16, l'appareil figuré suppose l'emploi de trois électro-aimants a^{14} a^{15} a^{16}, élévateurs de la roue des types sur son axe a_7, deux électros de rotation de cet axe b_{25} et b_{23}, et quatre électros imprimeurs cor-

respondant à huit touches de types (fig. 13) de sorte que le secteur des types peut, comme l'indique la figure 12, comprendre 44 caracteres, disposés sur quatre rangées horizontales de 11 caractères chacune. Le marteau imprimeur b^{34} frappe toujours l'un des caractères qui se trouve amené par la levée et la rotation de la roue des types en face de lui, dans l'axe de la rangée centrale.

L'avancement du chariot caractère par caractère, ou l'interlignage, s'effectue par la crémaillère c^3, au moyen du mécanisme représenté par les figures 9 à 11. A chaque attraction de l'électro-aimant e^{17}, le levier e_{14}, pivoté en e_{15}, repousse par son galet e_{18}, et malgré son ressort e_7, le levier e^6 dans la position pointillée, de manière que le cliquet e, entraîné par l'arbre e_3, passe, suivant la flèche 20, d'une dent à une autre de la crémaillère (de la position fig. 10 à la position fig. 11); puis, quand l'électro e^{17} lâche son armature, le ressort e_7 ramène e à sa position primitive en faisant reculer dans le sens de la flèche 22 la crémaillère et son chariot de l'espace d'un caractère. Quand le chariot est arrivé

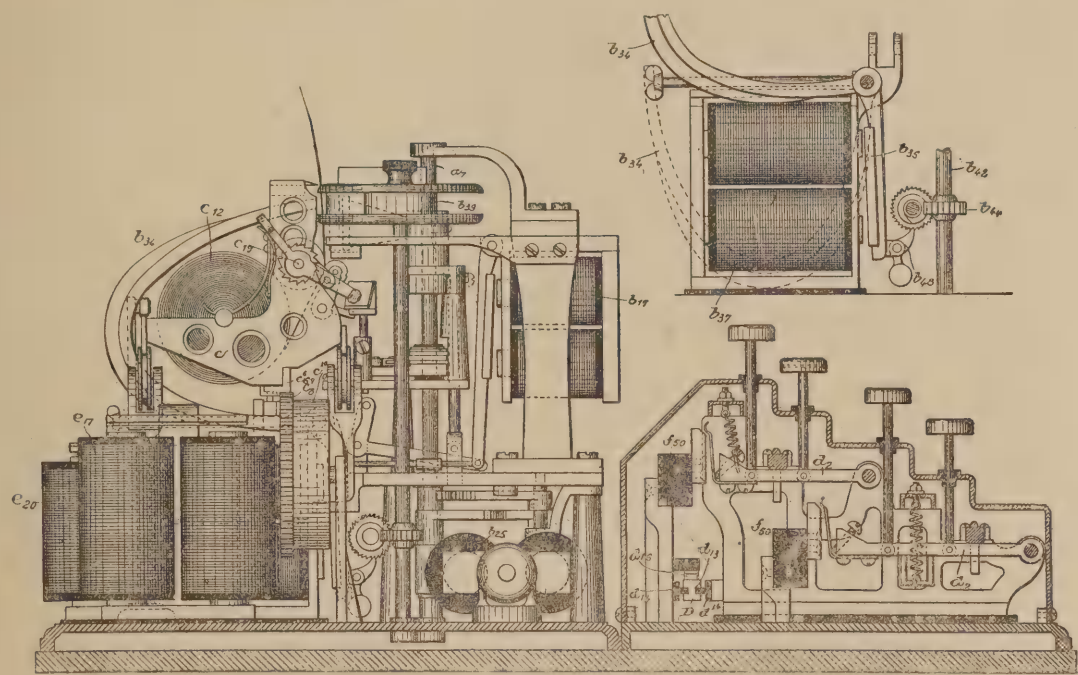


Fig. 2 et 3. — Coupe 2-2 fig. 1 et détail de l'électro-aimant imprimeur et de son marteau.

ainsi au bout de sa course ou à l'extrémité d'une ligne, le mécanisme moteur e_{10} le ramène automatiquement à sa position primitive, parce que l'électro-aimant de rappel e^{20} (fig. 4 et 16) fait, par son armature e^{24}, calée sur l'arbre e^{23} (fig. 10) basculer cet arbre de manière à déclencher de la crémaillère, à la fois (fig. 10), le cliquet e par e_1 et le cliquet e' par le lâcher de sa butée e_{31}, que fait basculer e_{33}, de sorte que rien n'empêche le mécanisme e_{10} de ramener la crémaillère en arrière dans la direction de la flèche 32 (fig. 10). Quant le chariot s'arrête au fond de sa course de rappel, le ressort 50 ramène le loquet e_{31} à sa position primitive (fig. 10).

Ceci compris, voici comment fonctionne l'appareil.

Au repos, le secteur des types se trouve avec la lettre A (fig. 12) en regard du marteau imprimeur, et, pendant la marche, les électro-aimants a^{14} a^{15} a^{16} (fig. 16) devenus actifs amènent respectivement à la hauteur du marteau les deuxième, troisième et quatrième rangées de caractères; on peut régler ces mouvements par la longueur de la bielle a_{20} (fig. 5).

Les trois électro-aimants élévateurs a^{14} a^{15} a^{16} sont commandés (fig. 16) par les contacts f f_1 f_2, les électros de rotation b_{25} b_{26} par les contacts f^6 f^7, et les électros des touches b^{17} par les contacts

f^{19} à f^{14}. Toutes ces clefs sont manœuvrées par les touches du clavier (fig. 2) et leurs leviers d^2, qui en portent en f^{20} les contacts mobiles susmentionnés vis-à-vis des contacts fixes $f_3 f_4 f_{18}$, montés sur les isolants f_{50}. Chacun des leviers d_2 porte à son extrémité le nombre de contacts nécessaire pour effectuer l'impression du caractère correspondant, suivant son rang sur la roue des types.

Les électros imprimeurs b^{37}, d'interlettrage c^{17} et de rappel du chariot e^{20} sont, ainsi que la sonnerie p_4, dans le circuit de la pile g^5, à cinq

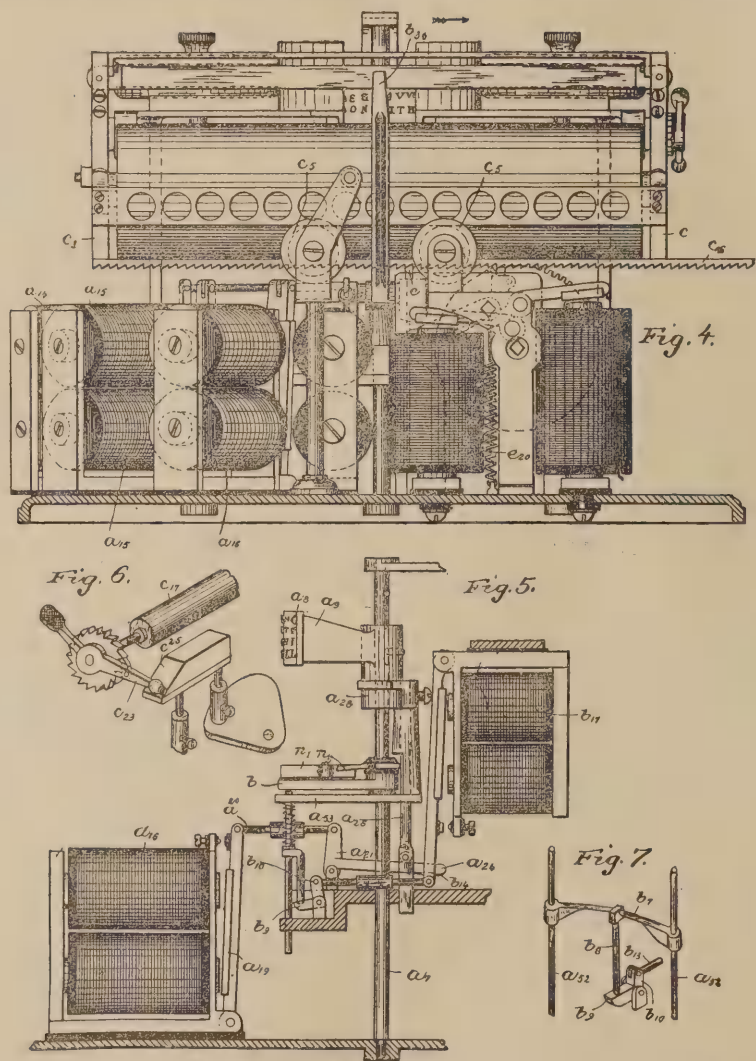


Fig. 4 a 7. — Fig. 4. Vue d'arrière. Fig. 5. Détail des mécanismes élévateur et typeur. Fig. 6. Détail de l'interligneur. Fig. 7. Conjugaison des fiches des types.

branches ouvertes. Le branchement de l'électro-imprimeur b^{37} est commandé par les armatures b^{14}, b^{14a}, $b^{14, 2a}$ des électros des touches b^{17}, b^{17a}... et leurs contacts g g' g_2 g_3.

L'armature b^{14} est reliée par le fil p à la borne g', reliée en série, par p' et p_2, aux bornes g_2 et g_3; en outre, le fil p_3 relie g à l'électro de la sonnerie p_4, relié lui même, par p_5, à la pile g_5.

L'armature b^{14a} est reliée par g^4 au pôle négatif de la pile g_5, dont le pôle positif est relié par g^3 à l'électro d'interlettrage c^{17}, relié lui-même, par g_7, à l'électro imprimeur b_{37}, que le fil g_8 relie au balai n^6 du collecteur n^4 (fig. 14 et 15) auquel aboutissent les balais n^2 n^3. Les bras n n' de ces balais, commandés par les touches (fig. 13) pour ouvrir ou fermer le circuit du

marteau imprimeur, sont reliés, par n^2, n^7 et p^6, au pôle négatif de la pile g_3.

L'armature $b^{14,\ 2a}$ est reliée par g^9 au fil g^8, et l'armature $b^{14,\ 3a}$, par p_7, à l'électro interlettreur c^{17} et, par g_7, à l'imprimeur b_{37}.

Quand on presse la touche du clavier correspondant à la lettre A, les clefs f_{12} f_{13} ferment les circuits des électros b^{17a} $b^{17,\ 2a}$, qui, attirant leurs armatures b^{14a} $b^{14,\ 2a}$, ferment le circuit local de l'imprimeur b^{37} et de l'interlettreur c^{17}.

En même temps, les clefs f_{12} et f_{13} ferment les contacts f^{16} f^{17}, relier, par k' k', aux électros b^{17a} $b^{17,\ 2a}$ et aux fils k^2 k^3. Lorsque l'appareil fonctionne en machine à écrire électromagnétique,

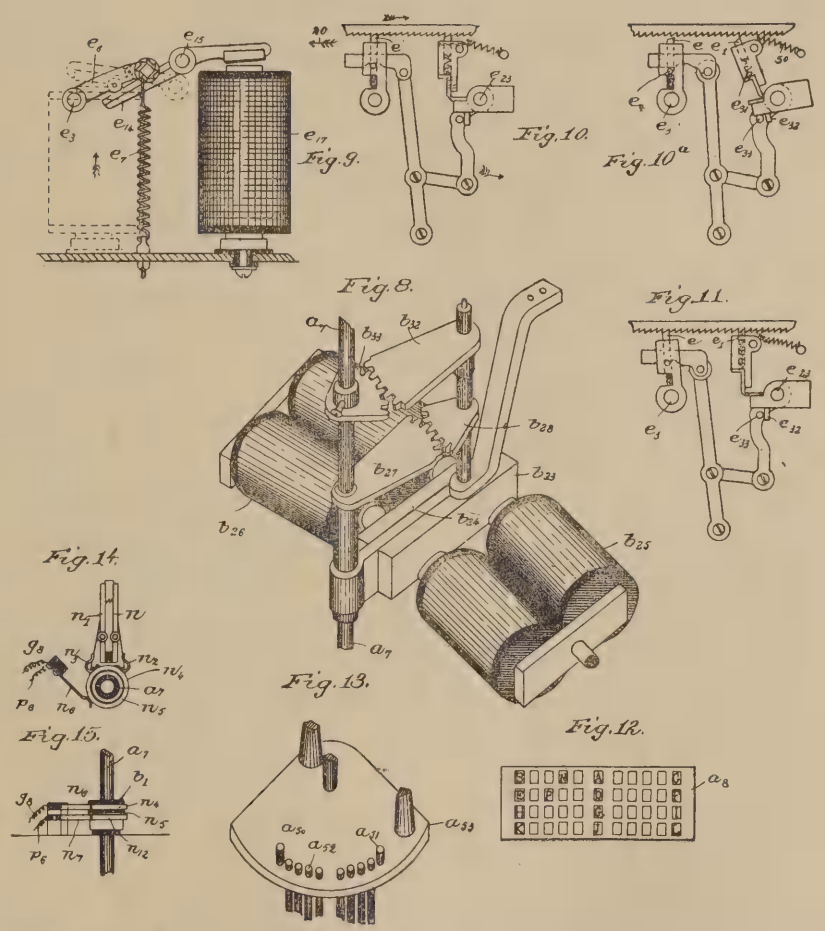


Fig. 8 à 15. — Fig. 8. Détail du mécanisme tourneur. Fig. 9 à 11. Fonctionnement du mécanisme interlettreur de rappel. Fig. 12. Secteur des types. Fig. 13. Plateau des fiches. Fig. 14 et 15. Commutateur du bras b (fig. 5).

les fils k^2 et k^3 sont reliés au pôle négatif de la pile e^{190} par les branchements k^{2a} k^{3a}, la barre o' du commutateur D', semblable au commutateur D, les ressorts k^{20}, le fil k^{21}, le ressort d^{20}, le contact d^{18}, le ressort d^{21} et le fil e^{180} ; le pôle positif de cette pile est relié par le fil e^{200} aux clefs f_{12} et f_{13}.

Quand on ferme ainsi les circuits des électros b^{17a} $b^{17,\ 2a}$, leurs armatures b^{14} $b^{14,\ 2a}$ ferment donc par g' et g_2 le circuit local des électros imprimeur b^{37} et interligneur c^{17}, suivant le trajet (+ g^5, g^3, e^{17}, g^7, b^{17}, g_8, g_9, $b^{14,\ 2a}$, g_2, p', g', b^{14a}, g^4 et — g^5).

Ainsi que nous l'avons dit, le commutateur D est semblable au commutateur D : il se compose de la barre conductrice o, des isolants o' et de leurs contacts o^2, du long contact o_3, isolé en o^4 et des contacts k^{200} k^{20}, dont l'un, k^{200}, peut être relié, par $k^{2/1}$, au collecteur D d'un autre appareil.

Pour imprimer une des lettres extrêmes de la première rangée du secteur des types (fig. 12),

il faut d'abord amener cette lettre en face du marteau imprimeur. Si cette lettre est à gauche de la rangée médiane verticale A, D, C, J, comme B, par exemple, le levier d_2 de la touche B, du clavier fermera le circuit de l'électro-aimant b_{25} (fig. 8) par (fig. 16), le trajet ($+ e^{190}$, e^{200}, f_6, f_8, k^5, b^{25}, k^6, k^{6a}, D'. k^{20}, k^{21}, d^{20}, d^{18}, D, $e^{180} - e^{190}$), et cet électro fera pivoter le secteur des types de gauche à droite jusqu'à son arrêt par la butée a^{51} (fig. 13), qui aura lieu quand la lettre B sera venue en face du marteau imprimeur, dont le circuit se ferme alors, comme nous allons le voir, par la butée du bras c (fig. 5) sur la butée 51.

Afin d'assurer la fermeture du circuit par cette butée, le bras c entraîne avec lui (fig. 14 et 15), les deux bras du contact n n'. Quand c vient heurter la butée 51, il en est de même du bras n' qui, amené ainsi au contact de son balai n^3, ferme le circuit de b^{37}, par (fig. 16) le trajet ($+ g^7$, c^6, e^{17}, g^7, b^{37}, g^8, n^3, n', n^{12}, n^7, p^6, $- g^5$). On voit

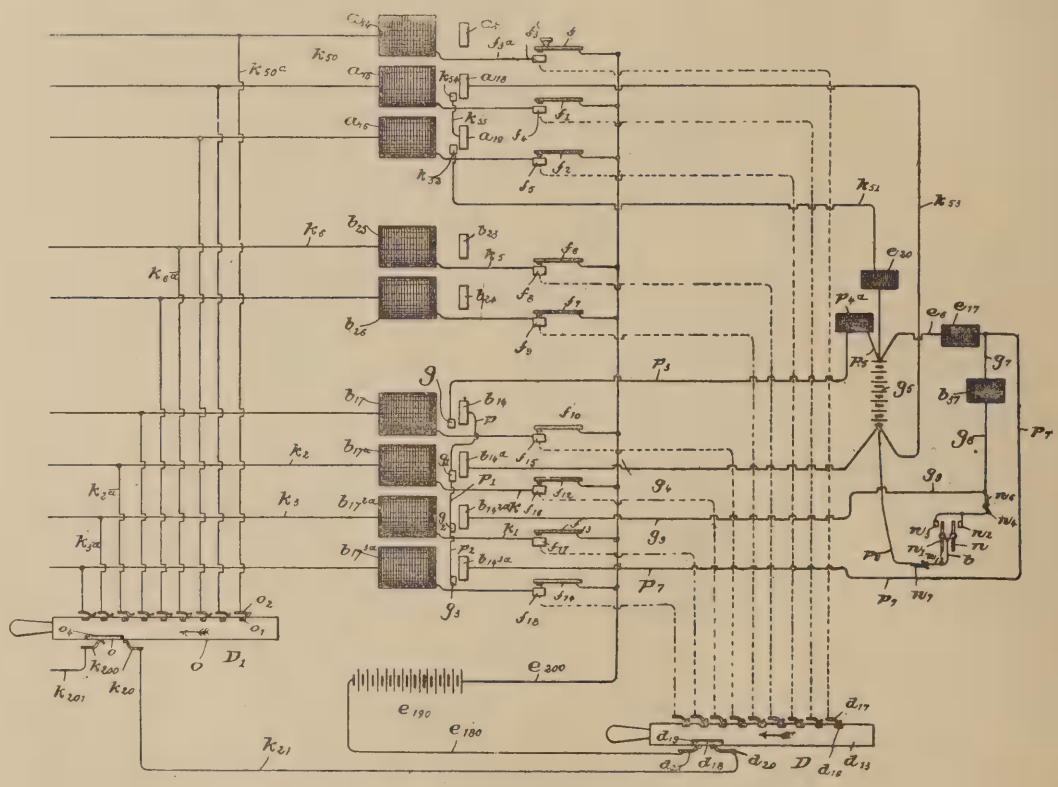


Fig. 16. — Schéma des circuits; marche en câble multiple.

ainsi, qu'aussitôt après l'amenée de la lettre en position devant le marteau, le circuit de l'électro imprimeur b^{27} se ferme en même temps que celui de l'interlettreur c^7, de sorte que le marteau frappe la lettre en même temps que, comme nous l'avons vu, l'électro c^{17} avance d'un cran le cliquet interlettreur c (fig. 10). Après l'impression de la lettre, le circuit e^{17} b^{37}, se rompt, et le ressort c^7 avance le chariot d'un interlettre.

L'impression d'une lettre intermédiaire quelconque de la première rangée, N, par exemple, s'opère de même par l'abaissement de la touche N du clavier, qui ferme par f^6 f^{12} les circuits des électros b^{25} et b^{17a}, en même temps qu'il lève (fig. 7) les touches a^{52} dont l'une, celle correspondant à N, arrête, comme précédemment a^{50} pour B, cette lettre en face du marteau, et la fait imprimer par le même processus que pour B.

Si l'on veut imprimer l'une des lettres de la rangée verticale médiane : D, par exemple, il faut amener cette lettre au-devant du marteau en soulevant la roue des types d'une rangée. A cet effet, l'abaissement de la touche D du clavier ferme par $f f_3$ le circuit de l'électro élévateur a^{14}, suivant le trajet ($+ e^{190}$, e^{200}, f, f_3, f^{3a}, a^{14}, k^{50}, k^{50a}, D' et $- e^{190}$), en même temps que celui des

électros imprimeurs et interlettreurs, par b^{17a} et $b^{17,\,2a}$, comme précédemment.

Les autres lettres G et J de la rangée verticale médiane s'impriment de même, parce que la dépression de leurs touches ferme, comme nous venons de le voir pour D, les circuits respectifs des électro-aimants leveurs a^{15} a^{16}.

Quant à l'impression d'une lettre quelconque d'une rangée autre que la première, elle s'opère comme celle des lettres B et N, décrite plus haut, avec cette modification que la disposition de leur touche commence par amener leur rangée au niveau du marteau, ainsi que nous venons de l'exposer.

L'électro-aimant de rappel du chariot e^{20} (fig. 4), se trouve intercalé (fig. 16) dans le circuit de la pile g_5 par k^{51} k^{52}, qui se ferme comme il suit, par une clef indépendante, actionnant les clefs f' f_2 f_3. Quand ces clefs se ferment, elles ferment aussi les circuits des deux électros élévateurs a^{15} a^{16}, dont les armatures a^{18} a^{19} ferment par les contacts k^{55} k^{54} k^{52} le circuit de l'électro-aimant de rappel, suivant le trajet ($+ g^5$, e^{20}, k^{51} k^{52}, a^{19}, k^{55}, k^{54}, a^{18}, k^{53}, $- g^5$).

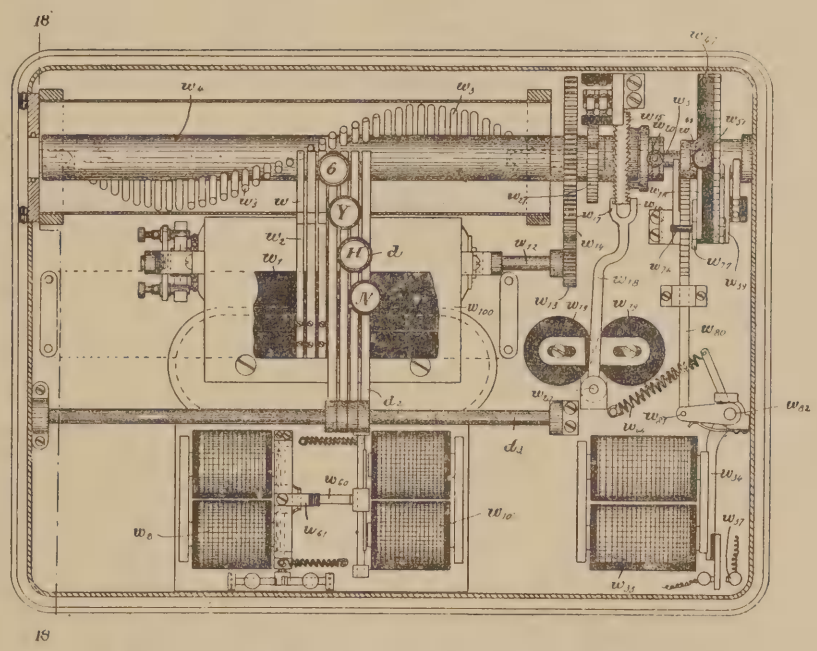


Fig. 17. — Clavier pour marche à fil unique (plan-coupe).

On peut aussi faire fonctionner l'électro interlettreur e^{17} indépendamment de l'imprimeur en fermant par les électros b^{17a} $b^{17,\,2a}$ la branche g^6 du circuit de la pile g^5. Cette manœuvre s'opère au moyen de la clef auxiliaire indépendante f^{12} f^{14}, qui, fermant le circuit des électros b^{17a} $b^{17,\,2a}$, leur fait, à leur tour, fermer le circuit de la pile g_5 sur e^{17}, suivant le trajet ($+ g_5$, g_6, e^{17}, p^7, $b^{14,\,3a}$, g^3, p_2, p', g', b^{14a}, g_4, $- g^6$).

Nous allons maintenant décrire le fonctionnement de l'appareil comme transmetteur télégraphique, d'abord en câble.

Il suffit, dans ce cas, de disposer les commutateurs conjugués D et D' comme l'indique la figure 16 de manière à les conjuguer par leurs contacts d^{18} et o^3, tellement que les fermetures des différents circuits se commandent sur les deux appareils synchroniquement l'une par l'autre. En effet, comme on le voit en figure 16, avec ces positions des commutateurs D et D', les circuits des électros élévateurs imprimeur et interlettreur de l'un des appareils, le récepteur, par exemple, sont reliés au contact d^{12} de son commutateur D, et aussi, par le retour commun e^{180} k^{21}, au pôle négatif de la pile c^{190}, dont le pôle positif est relié aux contacts du transmetteur. Ainsi, chacun des électro-aimants du récepteur se trouve relié par un fil de ligne à l'électro correspondant du transmetteur, de sorte que le

fonctionnement de la transmission par fils multiples ou par câble s'explique presque d'elle-même par la description de la marche d'un appareil isolé.

La transmission par un fil ou conducteur de ligne unique exige, au contraire, le remplacement du clavier de l'appareil précédent par celui que représentent les figures 17 et 18.

Dans ce clavier, les leviers d_2 des touches actionnent des ressorts w, fixés aux isolants w', et pouvant faire contact tantôt avec les ressorts w_2 tantôt avec les butées w^3 (fig. 17), distribuées dans le cylindre isolant w^4, et aboutissant à son arbre métallique w^5. Ces fiches et l'arbre w_5 font partie d'un circuit local normalement ouvert, sauf quand l'un des ressorts w rencontre sa

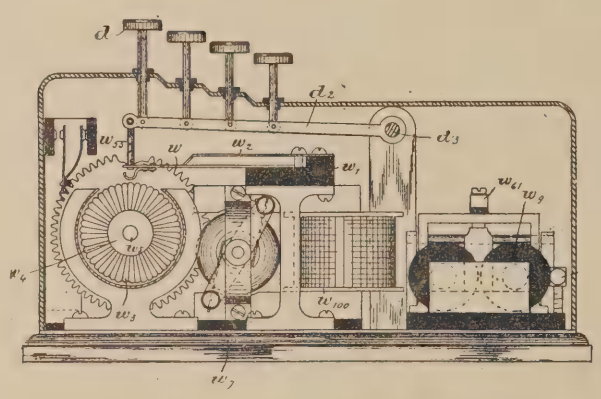


Fig. 18 et 19. — Coupe 18-18 (fig. 17).

fiche, et qui comprend la pile w^8 et l'électro-aimant w^9. Cette pile w^8 fait aussi, comme on le voit en figure 20, partie d'un circuit au contraire normalement fermé par les contacts w w^2, et qui renferme l'électro-aimant w^{10}.

Quand on emploie l'appareil comme transmetteur, le cylindre w_4 est mis continuellement en rotation par une dynamo w^{100}; mais quand on l'emploie comme récepteur, on le fait tourner dent par dent au moyen du rochet w^{15} et du double cliquet w^{18}, articulé en w_{20} (fig. 17) et faisant partie de l'armature du relais polarisé w_{10}; et le cylindre w_4 peut se débrayer de son arbre w_5 par une poignée w_{100}.

L'arbre w_5 porte en outre un second rochet w_{21} (fig. 17), qui actionne un commutateur composé (fig. 20) de deux bras w^{22} w^{23}, à quatre contacts w^{24}, w^{25}, w^{26}, w^{27}, dont deux w^{24} et w^{25}, de même polarité, reliés à l'un des côtés w^{28} de la ligne, et les autres, w^{25} w^{27}, aussi de même polarité, à l'autre bras w^{29}. Chacun des bras w^{22} w^{23} est constitué (fig. 23^a) de deux lames reliées électriquement, et sont reliés (fig. 20) par les fils 30 et 31 aux deux pôles de la pile w^{22}.

La ligne principale w^{38} comprend (fig. 20) un électro-aimant w^{33}, dont l'armature w^{34} est reliée à l'un des pôles de la pile locale w^{36}. L'autre partie du circuit normalement ouvert de cette pile aboutit, par le fil w^{38}, au bras w^{39}, isolé et calé sur l'arbre w^5, et dont l'extrémité se promène sur une série de contacts reliés aux divers électro-aimants de l'appareil. Le contact de ce bras est (fig. 20^a) formé de trois balais w^{40} w^{41} w^{42} correspondant à trois anneaux w^{44} w^{45} w^{46} du disque isolant w^{47}, fou sur l'arbre w^5, et maintenu immobile par le levier w^{49}.

Comme on le voit sur la figure 20, l'électro-leveur 14, le même que celui de l'appareil précédent, est relié par k^{50} à la borne w^{44} : l'électro-interlettreur, par k^6, à la borne w^{45}, et l'électro $b^{17\,2a}$, par k^3, à la borne w^{46}. Lorsque les balais w^{40} w^{41} w^{42} du bras 39, passent sur les contacts w^{44} w^{45} w^{46}, et que le circuit de la pile w^{36} est fermé par l'armature w^{34} de l'électro w^{33}, l'électro-leveur a^{14}, l'interligneur b^{25} et le typeur $b^{17\,2a}$ sont excités, de manière à frapper la lettre P, qui se trouve à gauche, à l'intersection de la troisième rangée verticale par la deuxième rangée horizontale dans la roue des types (fig. 12).

Le nombre des fiches w_3 est égal à celui des caractères, ainsi que celui des contacts w correspondant aux touches du clavier, tandis que celui des anneaux de contact w^{44} w^{45} w^{46} dépend de celui des électro-aimants à actionner après chaque impression.

Quand on emploie l'appareil comme transmetteur, chaque fois que l'on appuie sur une touche du clavier, la tige w^{55} (fig. 18) de cette touche sépare w de w_2 et l'appuie sur la fiche correspondante de w_1, de manière à fermer le circuit de l'électro w_9, lequel ferme, par le contact de son armature w^{60} (fig. 20), sur la butée w^{61}, le circuit de la pile w^{62}, suivant ($+$ w^{32} w^{31} w^{63} w^{64} w^{60} w^{61} w^{65} w^{39} — w^{32}) Cette mise en court circuit de w^{32}, équivalente à la rupture du courant de ligne, désaimante l'électro-aimant w^{33} assez pour permettre au ressort w^{36} d'amener son armature w^{34} sur le contact w^{37}, et de fermer en ce point le circuit de la pile w^{36}. Ce circuit est aussi fermé par le bras w^{39}, de manière à exciter,

comme nous l'avons vu, les électros reliés aux contacts circulaires du disque w^{47}.

Lorsqu'on emploie l'appareil comme récepteur, le cylindre w_4 tourne, comme nous l'avons vu, dent par dent du rochet w, sous l'action de l'électro-aimant polarisé w^{19} ; et, quand la ligne est coupée ou mise en court circuit, comme nous l'avons expliqué plus haut, au transmetteur, l'électro-aimant w^{33} du récepteur est démagnétisé, et le circuit de la pile locale w^{36}, au récepteur, est fermé par l'amenée de l'armature w^{34} sur la butée w^{37}. De cette manière, le récepteur imprime la lettre frappée au transmetteur, pourvu que les arbres w_5 des deux appareils tournent à l'unisson.

Cette mise à l'unisson ou au synchronisme

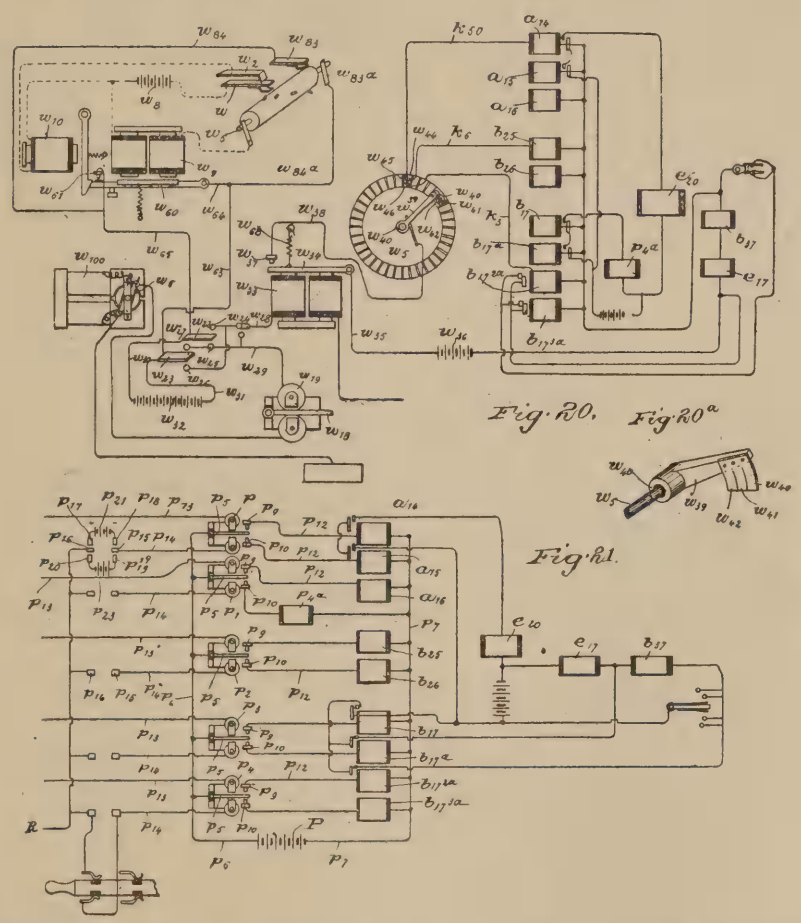


Fig. 20 et 21. — Schéma des circuits pour la marche en fil unique et en câble réduit.
Fig. 20a. Détail du bras de contact.

s'opère (fig. 22 et 23) par un rochet w^{70}, fou sur son arbre, et que le cliquet w_{72}, calé sur l'arbre w_5, fait tourner d'une dent, suivant la flèche, à chaque tour de w_5. jusqu'à ce que le bras w^{75}, entraîné par le rochet, l'arrête par sa butée sur l'un des taquets enfilés dans les trous w_{79} du levier w^{77}. D'autre part, le rochet 20 s'arrête aussi quand l'électro w_{33} amène, par son armature w_{34}, le cliquet w^{30} en prise avec 20, comme l'indique la figure 23. lorsque son circuit est fermé sur w_{32} (fig. 20) par le trajet ($+ w_{32}\ w^{31}\ w^{63}\ w^{84a}\ w^{83a}\ w^{5}\ w^{3}\ w^{83}\ w^{65}\ w^{30} - w_{32}$). Les trous w^{78} permettent de régler les positions relatives du taquet d'unisson et du bras w^{75} de manière à permettre au cylindre w_4 de tourner sur w_5 de l'arc nécessaire pour la mise à l'unisson.

La disposition indiquée schématiquement par la figure 21 permet d'employer la transmission par câble de la figure 16, mais en réduisant con-

sidérablement le nombre des conducteurs. Dans la disposition figure 16, les électros leveurs imprimeurs et interlettreurs des deux appareils : le récepteur et le transmetteur, sont reliés par autant de fils distincts dans le câble commun. Avec le dispositif de la figure 21, ces électros sont, pour chaque appareil, reliés à la pile P par un circuit local dont les branches, normalement ouvertes, sont contrôlées par le jeu des électro-aimants ou relais polarisés $p\,p'\,p^2\,p^3\,p^4$, avec armatures p_5 toutes reliées, par le fil p^6, au pôle positif de la pile P, dont l'autre pôle est relié par p_7 aux électro-aimants de l'appareil.

Quand l'armature p_5 de l'un des relais polarisés, p, par exemple, ferme son contact p_9, le circuit de la pile P est fermé sur l'électro leveur a^{14}; et, quand p_5 fait contact en p^{10}, ce même circuit est fermé sur a^{15}.

Voici maintenant comment ces relais polarisés $p\,p'$... sont mis en œuvre par l'abaissement des touches du clavier des types. Pour chacun de ces relais, l'une de leurs bobines est reliée au fil de ligne p_{13}, et l'autre, par p^{14}, au fil de retour commun R. Les fils p_{11} sont normalement ouverts et pourvus, en $p^{15}\,p^{16}$, de deux paires de contacts reliées : $p^{17}\,p^{18}$, aux pôles positif et négatif de la pile p^{21}, et $p^{19}\,p^{20}$ à ceux de la pile p^{22}. Les contacts p^{17} p^{18} sont commandés par la touche d'une lettre : E, par exemple, et $p^{19}\,p^{20}$ par celle d'une autre lettre : H, par exemple. Quand on presse la touche E, on amène $p^{17}\,p^{18}$ sur $p^{16}\,p^{15}$,

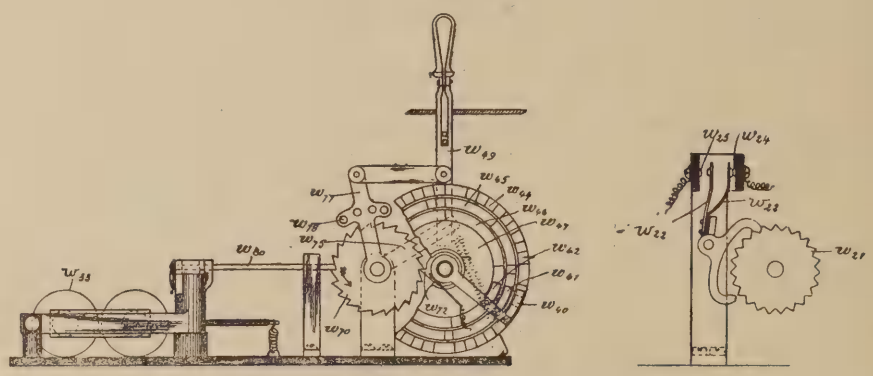


Fig. 22 et 23. — Détails du clavier (fig. 18).

et le courant de la pile p^{21} traverse l'électro polarisé p dans un sens tel qu'il attire son armature p_9 et ferme ainsi le circuit de P sur l'élévateur a^{14}. Quand on presse sur la touche H, c'est, au contraire, la pile p^{21} qui, fermée par $p^{15}\,p^{16}$, envoie dans le relais p un courant en sens inverse du précédent, et tel qu'il amène son armature sur le contact p_{10}, en fermant ainsi le courant de la pile P non plus sur a^{14}, mais sur a^{15}.

De même, le relais p' commande l'élévateur a^{16} et la sonnerie p^{4a} ; p^2, les électros d'interlettrage $b^{25}\,b^{26}$; p_3 et p_4, les électros des types b^{17}, $b^{17\,a}$, $b^{17\,2a}$, $b^{17\,3a}$.

La description forcément longue et fastidieuse que nous venons de donner de l'une des machines de MM. Neal et Eaton ne la présente pas, de prime-abord, sous un jour bien séduisant, mais plutôt sous l'aspect d'un organisme excessivement compliqué, comme cela a presque toujours lieu quand la description d'un mécanisme entraîne à celle d'un certain nombre de circuits électriques dont l'action simultanée est d'une suite difficile ; mais il est facile de voir, à une seconde lecture, que cette complication n'est en réalité qu'apparente, car tous les éléments de cet appareil, en eux-mêmes tout à fait élémentaires, ne font que se répéter, ainsi que leurs fonctions, parfaitement spécialisées, dans un ordre logique et par des combinaisons cinématiques ou électriques de la plus grande simplicité.

Nous n'avons d'ailleurs présenté à nos lecteurs, par cette description, qu'une partie de l'œuvre de MM. Neal et Eaton, sur laquelle nous reviendrons à une prochaine occasion.

GUSTAVE RICHARD.

SELF-INDUCTION ET CAPACITÉ [1]

QUATRIÈME CAS. — FORCE ÉLECTROMOTRICE PÉRIODIQUE QUELCONQUE.

Valeur du courant et de la charge.

Il nous reste à examiner le cas général où la force électromotrice est une fonction périodique quelconque du temps.

Cette force électromotrice peut se mettre sous la forme connue

$$e = E_1 \sin(\omega t + \theta_1) + E_2 \sin(2\omega t + \theta_2) + \ldots \quad (83)$$

ou encore sous la forme plus condensée

$$e = f(t) = \sum_{E,\, b,\, \theta} E \sin(b\omega t + \theta) \quad (84)$$

où E et θ sont des quantités positives quelconques et b un nombre entier.

On en déduit :

$$\frac{de}{dt} = f'(t) = \sum_{E,\, b,\, \theta} E b \cos(b\omega t + \theta) \quad (85)$$

Si l'on substitue les valeurs de $f(t)$ et $f'(t)$ dans les expressions générales (13) et (14) du courant et de la charge, on voit que chaque terme de la force électromotrice donnera un terme analogue après l'intégration, de sorte que par analogie avec le cas précédent on peut écrire immédiatement les expressions de i et de q

$$i = \sum_{E,\, b,\, \theta} I \sin(b\omega t + \theta + \Phi) + c_1 \varepsilon^{-\frac{t}{T_1}} + c_2 \varepsilon^{-\frac{t}{T_2}} \quad (86)$$

$$q = \sum_{E,\, b,\, \theta} -\frac{I}{\omega} \cos(b\omega t + \theta + \Phi) + c_3 \varepsilon^{-\frac{t}{T_1}} + c_4 \varepsilon^{-\frac{t}{T_2}} \quad (87)$$

en posant comme plus haut

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{Cb\omega} - Lb\omega\right)^2}} \quad (88)$$

et

$$\text{arc tang}\left(\frac{1}{CRb\omega} - \frac{Lb\omega}{R}\right) = \Phi. \quad (89)$$

Chacune des sommes pour i et q a le même nombre de terme que la force électromotrice et les valeurs E, b, θ sont les mêmes pour les termes correspondants.

Dans le cas d'une force électromotrice harmonique, nous savons que si la relation

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

existe, tout se passe dans le circuit, comme s'il n'y avait pas de self-induction ni de capacité, et le courant suit alors la loi d'Ohm.

La charge est de même indépendante de L et de C :

$$q = -\frac{E}{R\omega} \cos \omega t.$$

Le courant étant le même à chaque instant que s'il n'y avait pas de self-induction et de capacité, il doit en être de même des effets produits ; en particulier, la quantité d'électricité qui circule pendant une demi-période

$$\int_0^{\frac{T}{2}} i\, dt = Q$$

est la même que sans self-induction et capacité, et l'énergie dépensée dans le circuit en travail ou en chaleur est aussi la même et est proportionnelle à

$$\int i^2 dt$$

Pour nous assurer si une relation analogue pourrait exister entre L et C de façon que ces deux quantités puissent se neutraliser l'une l'autre, dans le cas où la force électromotrice n'est pas une fonction harmonique, considérons le cas où cette force électromotrice se compose d'une somme de deux fonctions sinusoïdales du temps

$$e = E_1 \sin a\omega t + E_2 \sin b\omega t \quad (90)$$

a et b étant des entiers quelconques.

L'expression du courant est alors d'après (86)

$$i = \frac{E_1}{\sqrt{R^2 + \left(La\omega - \frac{1}{Ca\omega}\right)^2}} \sin\left\{a\omega t + \text{arctang}\left(\frac{1}{CaR\omega} - \frac{La\omega}{R}\right)\right\} + \frac{E_2}{\sqrt{R^2 + \left(Lb\omega - \frac{1}{Cb\omega}\right)^2}} \sin\left\{b\omega t + \text{arctang}\left(\frac{1}{CbR\omega} - \frac{Lb\omega}{R}\right)\right\} \quad (91)$$

Si l'on suppose que la relation

$$a\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (92)$$

est satisfaite, le premier terme sera bien tel que si la self-induction et la capacité n'existaient pas ; mais le second terme ne sera pas indépendant de ces quantités et il en résultera que la valeur instantanée du courant ne suivra pas la loi d'Ohm ;

[1] *La Lumière Electrique*, 4 février 1893, p. 222.

de même si la relation

$$b\,\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \tag{93}$$

est satisfaite sans que la première le soit.

Si l'on a $a = b$, la force électromotrice se réduit à une fonction harmonique et l'on rentre dans le cas précédemment étudié.

Il sera de même si l'on a $E_1 = 0$ ou $E_2 = 0$ avec les relations correspondantes (92) ou (93).

Le fait que la neutralisation réciproque de la self-induction et de la capacité n'est possible que dans le cas d'une force électromotrice harmonique, est mis en évidence d'une manière plus directe et plus générale par MM. Bedell et Crehore, à l'aide du procédé suivant.

Reprenons l'équation générale

$$e = Ri + L\frac{di}{dt} + \frac{\int i\,dt}{C} \tag{94}$$

Nous cherchons les conditions à remplir pour qu'à chaque instant tout se passe comme si la self-induction et la capacité n'existaient pas, c'est-à-dire que la loi d'Ohm soit vérifiée ou :

$$e = Ri \tag{95}$$

Substituons dans (94), nous avons

$$L\frac{di}{dt} + \frac{\int i\,dt}{C} = 0 \tag{96}$$

ce qui revient à dire que les forces électromotrices de self-induction et de capacité sont égales et opposées.

Différentions, nous obtenons :

$$\frac{d^2 i}{dt} = -\frac{i\,dt}{LC}$$

Multiplions par le facteur intégrant $\frac{di}{dt}$, nous avons

$$\frac{d^2 i}{dt} \times \frac{di}{dt} = -\frac{i\,di}{LC}$$

ou

$$d\left(\frac{di}{dt}\right)^2 = -\frac{2\,i\,di}{LC}$$

d'où

$$\left(\frac{di}{dt}\right)^2 = -\frac{i^2}{LC} + c$$

ou encore

$$\frac{di}{dt} = \pm\sqrt{c - \frac{i^2}{LC}}$$

L'intégration de cette équation est immédiate et donne

$$\arcsin\frac{i}{\sqrt{c\,LC}} = \frac{t}{\sqrt{LC}} + c_1 \tag{97}$$

ou mieux, en posant

$$c' = \sqrt{c\,LC}$$

$$i = c'\sin\left(\frac{t}{\sqrt{LC}} + c_1\right). \tag{98}$$

On voit donc que le courant doit être une fonction sinusoïdale du temps.

La valeur maxima I du courant est égale à c'; de plus, si nous prenons pour origine du temps un des moments où le courant s'annule, nous aurons

$$c_1 = 0$$

et par suite

$$i = I\sin\frac{1}{\sqrt{LC}}\,t$$

Désignons par ω la vitesse angulaire fictive

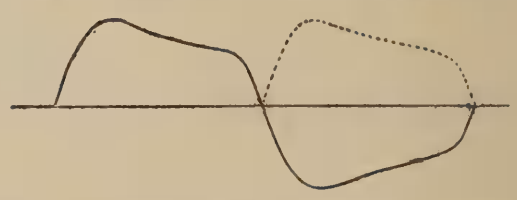


Fig. 19.

qui, dans toute fonction harmonique est le coefficient de t, nous aurons

$$i = I\sin\omega\,t \tag{99}$$

avec

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \tag{100}$$

Les conditions nécessaires cherchées sont donc que le courant soit une fonction sinusoïdale du temps, et que le coefficient de self-induction et la capacité soient liées à la vitesse ω par la relation (100).

Revenons au cas d'une force électromotrice quelconque et proposons-nous de rechercher s'il peut exister entre L et C une relation telle que l'énergie dépensée dans le circuit dans un temps donné soit la même avant et après l'introduction de L et de C.

Dans ce but, nous considérerons quelques for-

mes de courbes de courant, et nous étudierons l'effet $\int i^2\,dt$ dans ces différents cas et enfin nous déterminerons l'énergie dans le cas d'une fonction périodique quelconque.

La figure 19 représente une courbe où les

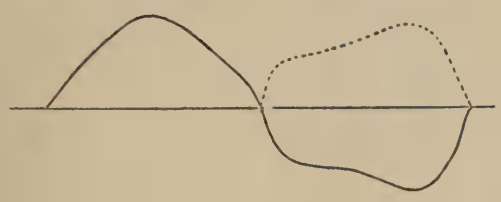


Fig. 20.

aires comprises entre elle et l'axe des temps sont égales; de plus, elle est telle que si nous prenons la partie symétrique de la courbe au-dessous de l'axe des temps, la partie pointillée ob-

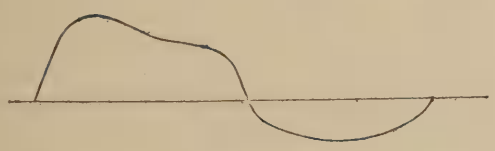


Fig. 21.

tenue est identique à la portion située au-dessus de l'axe.

Cette courbe peut être considérée comme le type de la courbe de courant donnée par un al-

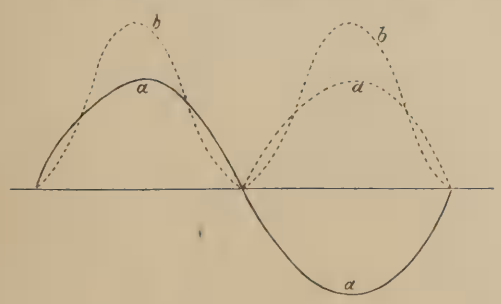


Fig. 22.

ternateur travaillant sur un circuit contenant une self-induction et une capacité, mais pas de force contre-électromotrice.

En effet, il est évident que lorsque l'armature tourne, le nombre de lignes de force introduit à chaque période est égal à celui absorbé par le circuit. La quantité de courant qui circule dans le circuit est de plus proportionnelle à la variation du nombre de lignes de force passant dans le circuit; ceci revient à dire que la quantité circulant dans la direction positive est exactement égale à celle circulant dans l'autre sens, ou encore que la somme algébrique des quantités d'électricité circulant dans un sens ou dans l'autre, par période, est nulle.

Si l'alternateur n'est pas rigoureusement sy-

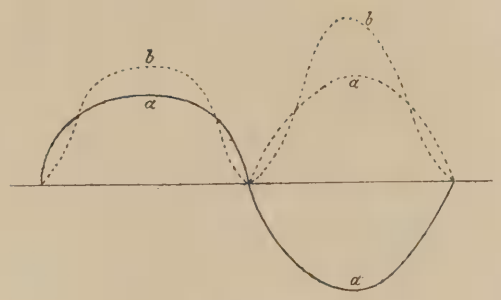


Fig. 23.

métrique dans sa construction, les deux aires ne seront pas égales, mais dans tous les cas pour une révolution complète l'intégrale $\int i\,dt$ sera nulle.

Dans la courbe 20 les deux aires correspondant à chacune des demi-périodes sont encore égales, mais la symétrique de la seconde n'est plus identique à la première. C'est le type de courbe de courant lorsqu'il y a dans le circuit un condensateur parfait; dans ce cas encore $\int i\,dt$ est nulle pour chaque période.

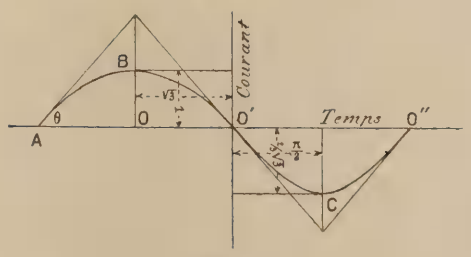


Fig. 24.

Enfin, la figure 21 représente une courbe où l'aire négative n'est plus égale à la positive.

Recherchons maintenant si l'effet $\int i^2\,dt$ est le même dans un circuit pendant que le courant circule dans la direction positive ou pendant qu'il circule dans la direction contraire.

Il est facile de voir qu'il en est ainsi dans le

cas de la figure 19. Si, en effet, nous construisons la courbe des carrés de l'intensité, l'effet $\int i^2 dt$ est proportionnel à l'aire de la courbe obtenue b représentée en pointillé (fig. 22), et les courbes aa étant les mêmes il en sera de même des courbes bb.

Si nous prenons une courbe telle que celle de la figure 20, bien que les aires des parties comprises entre la courbe et l'axe des temps soient égales, les effets $\int i^2 dt$, proportionnels aux aires des courbes bb de la figure 23, ne sont plus forcément les mêmes pour chacune des demi-périodes.

Nous montrerons ce fait (à peu près évident géométriquement) sur un cas particulier simple : nous supposerons que la partie positive de la courbe est une parabole (fig. 24) dont l'équation est, en prenant le point O pour origine

$$t^2 = -3i + 3$$

et la partie négative une sinusoïde, dont l'équation est (O″ étant l'origine) :

$$i = \frac{2}{3} 2\sqrt{3} \sin t$$

Ces deux courbes se raccordant au point O′, c'est-à-dire ayant même tangente en ce point, ce qui peut se vérifier facilement en calculant le $\frac{di}{dt}$ de chaque courbe pour le point O′.

Les aires $\int i dt$ des deux portions considérées sont égales; en effet, on sait que l'aire parabolique A B O est égale au produit des deux tiers de la base O′ par la hauteur O B ou :

$$\frac{2}{3} \times 2\sqrt{3} \times 1 = \frac{4}{3}\sqrt{3}$$

et l'aire sinusoïdale est immédiatement

$$-\frac{2}{3}\sqrt{3} \int_0^{\pi} \sin t \, dt = \frac{4}{3}\sqrt{3}.$$

Calculons maintenant les expressions de $\int i^2 dt$.

On a pour la parabole

$$i = 1 - \frac{t^2}{3}$$

d'où

$$i^2 = 1 - \frac{2}{3} t^2 + \frac{t^4}{9}$$

et

$$\int i^2 dt = \int dt - \frac{2}{3} \int t^2 dt + \frac{1}{9} \int t^4 dt$$

d'où, en intégrant entre les limites $-\sqrt{3}$ et $+\sqrt{3}$.

$$\int_{-\sqrt{3}}^{\sqrt{3}} i^4 dt = \left[t - \frac{2}{9} t^3 + \frac{1}{45} t^5 \right]_{-\sqrt{3}}^{\sqrt{3}} = \frac{16}{15}\sqrt{3}$$

Pour la sinusoïde on a

$$i^2 = \frac{4}{3} \sin^2 t ;$$

d'où

$$\int i^2 dt = \frac{4}{3} \int \sin^2 t \, dt,$$

et en intégrant entre les limites o et π :

$$\int_0^{\pi} i^2 dt = \frac{4}{3} \int_0^{\pi} \sin^2 dt = \left[\frac{t}{2} - \frac{1}{2} \sin t \cos t \right] = \frac{4}{3}\frac{\pi}{2} = \frac{2}{3}\pi$$

Les deux aires sont donc différentes et leur rapport est dans ce cas particulier de 1,135. Ceci fournit, suivant MM. Bedell et Crehore, une explication de ce que dans certain cas l'un des charbons d'une lampe à arc fonctionnant sur courant alternatif s'use plus rapidement que l'autre. Cette manière d'expliquer ce phénomène me semble un peu sujette à caution ; l'usure plus rapide d'un des charbons tient évidemment à un plus facile arrachement des molécules de carbone ; il semblerait donc que le phénomène en question doit être attribué à la quantité d'électricité $\int i \, dt$ plutôt qu'à l'énergie $\int i^2 dt$.

Ceci posé, recherchons enfin s'il peut exister une relation entre L et C telle que l'énergie dépensée dans le circuit en un temps donné reste la même avant et après l'introduction de L et C.

Cette énergie est proportionnelle à $\int i^2 dt$.

Si nous posons

$$a = \theta + \text{arc tang} \left(\frac{1}{CRb\omega} - \frac{Lb\omega}{R} \right),$$

l'expression (86) du courant i s'écrit alors, en négligeant les exponentielles,

$$i = \Sigma I \sin (b\omega t + a);$$

d'autre part, si nous supposons qu'il n'y ait ni self-induction ni capacité, l'expression du cou-

rant i_0 serait, d'après la loi d'Ohm et en posant

$$I_0 = \frac{E}{R},$$

$$i_0 = \Sigma I_0 \sin(b\omega t + \theta)$$

Les expressions de $\int i^2 dt$ seront dans les deux cas

$$W = \int i^2 dt = \int [\Sigma I \sin(b\omega t + a)]^2 dt,$$

$$W_0 = \int i_0 dt = \int [\Sigma I_0 \sin(b\omega t + \theta)]^2 dt.$$

Nous devons maintenant intégrer ces deux expressions entre les mêmes limites, puis les égaler.

Les limites à prendre sont $t = 0$, $t = T$ ($T = \frac{2\pi}{\omega}$ étant la durée d'une période complète de la force électromotrice périodique).

Ces calculs ont déjà été effectués dans ce journal [1], dans un travail de MM. Hutin et Leblanc; aussi je me contenterai de les indiquer rapidement.

Prenons l'expression de W; si nous effectuons le carré indiqué, nous obtiendrons

$$W = \Sigma \int I^2 \sin^2(b\omega t + a)\, dt$$

$$+ 2\Sigma \int I_1 \sin(b_1 \omega t + a_1)\, I_2 \sin(b_2 \omega t + a_2)\, dt.$$

Nous aurons donc à calculer les intégrales des deux formes suivantes :

$$\int_0^T \sin^2(b\omega t + a)\, dt,$$

$$\int_0^T \sin(b_1 \omega t + a_1) \sin(b_2 \omega t + a_2)\, dt;$$

ou en posant

$$\omega t = x,$$

ce qui donne pour les limites d'intégration 0 et 2π :

$$\int_0^{2\pi} \sin^2(bx + a)\, dt,$$

$$\int_0^{2\pi} \sin(b_1 x + a_1) \sin(b_2 \lambda + a_2)\, dt.$$

La première forme donne immédiatement

$$\int_0^{2\pi} \sin^2(bx + a)\, dt = \frac{1}{2}\int_0^T dt = \frac{1}{2}T.$$

[1] *La Lumière Electrique*, t. XL, p. 204, 1891.

La seconde forme se décompose en quatre autres dont l'élément différentiel est un produit de deux termes *cos* ou *sin*. Chaque produit se décompose en une somme de deux autres dont l'intégrale est nulle entre les limites 0 et 2π.

On a donc simplement

$$W = \Sigma \int_0^T I^2 \sin^2(b\omega t + a)\, dt = \frac{T}{2}\Sigma I^2.$$

Un calcul identique donnerait pour W_0 la valeur :

$$W_0 = \frac{T}{2}\Sigma I_0^2.$$

Egalons les expressions de W et de W_0 de façon à déterminer la condition nécessaire de l'égalité de l'énergie dépensée dans chaque cas, nous obtenons

$$\Sigma I^2 = \Sigma I_0^2,$$

ou, en remplaçant les expressions par leurs valeurs,

$$\Sigma \frac{E^2}{R^2 + \left(\frac{1}{Cb\omega} - Lb\omega\right)^2} = \Sigma \frac{E^2}{R^2}.$$

Chacun des membres de cette expression étant une somme de carrés, l'égalité précédente exige forcément que les termes correspondants soient égaux deux à deux, ce qui ne peut avoir lieu que si l'on a pour toutes les valeurs entières dont b est susceptible :

$$\frac{1}{Cb\omega} - Lb\omega = 0 \quad \text{ou} \quad b\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Mais cette expression montre que b n'est susceptible que d'une seule valeur $\frac{1}{\omega\sqrt{LC}}$, ce qui revient à dire que la force électromotrice est encore dans ce cas une fonction harmonique.

CONCLUSION

On voit, par l'analyse que nous venons de faire de l'intéressant travail de MM. Bedeel et Crehore, qu'il constitue l'exposé le plus complet et le plus didactique qui ait été fait jusqu'à présent du rôle théorique de la self-induction et de la capacité dans les conducteurs traversés par des courants continus, périodiques, simples ou complexes et discontinus.

Grâce à l'emploi d'une méthode uniforme et à la construction de nombreux graphiques, qui contribuent à donner plus de clarté et de précision à la discussion et qui mettent en évidence certains phénomènes intéressants et curieux dans les régimes non permanents, les auteurs ont su rajeunir un sujet en apparence épuisé.

Quelques-unes des démonstrations données sont d'ailleurs nouvelles, toutes sont satisfaisantes par leur rigueur et leur simplicité.

Il est seulement regrettable que les auteurs se soient bornés au cas d'une capacité d'une série ; il faut, du reste, espérer qu'ils compléteront bientôt leur travail par l'étude des effets d'une capacité en dérivation, car ce cas est actuellement l'un des plus intéressants au point de vue des applications pratiques [1].

F. Guilbert.

LA STATION CENTRALE DE DESSAU

Les avantages considérables que présentent les moteurs à gaz pour le service des stations centrales d'éclairage électrique tendent à généraliser leur emploi de jour en jour; ils sont le trait d'union naturel entre l'industrie gazière et l'industrie électrique; depuis qu'ils sont dans le domaine public, leur prix a considérablement baissé, en sorte qu'à puissance égale, ils coûtent environ moitié moins qu'une machine à vapeur avec sa chaudière, sa cheminée, etc. ; ils demandent un emplacement beaucoup moindre, une surveillance très réduite, travaillent sans bruit, sans fumée, ce qui est précieux dans les villes en permettant d'établir l'usine au point le plus favorable; enfin, ils peuvent être mis en marche instantanément sans qu'on ait besoin, au préalable, de chauffer une chaudière; ils permettent donc de diminuer à la fois et le prix de premier établissement et les frais d'exploitation; dernièrement encore, dans son article intitulé « Sous-stations électriques », que ce journal a publié dans son numéro du 13 août 1892, page 324, M. Swinburne s'étonnait que les moteurs à gaz ne soient pas plus répandus à l'heure actuelle : « Ces moteurs, fonctionnant avec le gaz à l'eau, disait-il en substance, peuvent travailler avec une dépense de 700 grammes de charbon environ par cheval-heure. Pourquoi donc se servir de machines à vapeur consommant de 5 à 15 kilogrammes de charbon pour une puissance égale? L'adoption des moteurs à gaz fera disparaître les accumulateurs des stations centrales ».

Cependant, les chiffres exacts fournis par les statistiques d'exploitation manquaient complètement pour permettre une comparaison pratique des moteurs à gaz et des machines à vapeur. Nous voudrions examiner aujourd'hui les résultats que les premiers ont donnés à l'usine centrale de Dessau.

Cette usine se trouve dans des conditions particulièrement favorables pour permettre cette étude, car les moteurs à vapeur s'y trouveraient dans des conditions très désavantageuses; la ville de Dessau, capitale du duché d'Anhalt, est une des plus calmes de l'Allemagne entière; ses rues sont larges, bien percées et bordée de jolies maisons qui n'ont, pour la plupart, qu'un seul étage. La clientèle s'y répartit de la façon suivante :

Nature de la clientèle	Nombre de lampes		Nombre de moteurs
	Incandescence	Arc	
Cafés, hôtels et cercles...	71	2	
Restaurants.....	74	4	
Ateliers, fabriques.....	9		3 × 1 1/2
Magasins de détail.....	115	42	
Bureaux et appartements.	240	3	
Théâtres et concerts.....	990	2	
Palais	1771	6	

Le tout correspondant à 3908 lampes de 16 bougies. C'est donc une usine de moyenne puissance qui, par suite de l'irrégularité de son principal client, se trouve dans des conditions particulièrement propices à l'emploi des moteurs à gaz. La consommation moyenne en hiver, au mois de décembre, est à peu près celle que représente la courbe de la figure 1, tandis que parfois, lorsque les lampes du palais sont allumées, comme cela s'est produit, par exemple, lors du séjour de l'empereur d'Allemagne à Dessau, le 5 décembre 1889, la consommation est plus que doublée

[1] *Erratum* : Page 122, dénominateur de (42), lire RC au lieu de C; page 123, dénominateur de arc tang, lire RC au lieu de 2LC; page 118, expression qui précède et suit (7), lire LC au lieu de 4e et de 4C.

(fig. 2); elle est de 850 ampères en moyenne et s'élève, à un moment, à près de 1100 ampères, alors que la consommation moyenne est d'environ 300 ampères avec un maximum de 430 ampères.

La durée moyenne d'allumage des lampes est extrêmement faible; elle n'atteint pas 200 heures par lampe installée et par an; il y avait donc avantage à diminuer le plus possible les frais de premier établissement.

L'usine est en marche depuis le mois de septembre 1886 et les données statistiques ont été relevées avec soin, les moteurs à gaz se prêtant particulièrement bien à ce contrôle.

Sa création a été décidée par la *Deutschen*

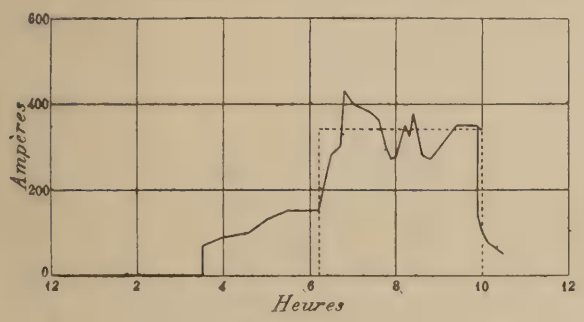


Fig. 1. — Débit moyen en décembre 1889. Trait plein : diagramme de la consommation; trait pointillé : travail du moteur.

Continental Gas Gesellschaft en septembre 1886. C'est, après celle de Berlin, la plus ancienne station centrale établie en Allemagne. Elle est située près du théâtre et de l'usine à gaz, en plein centre de son réseau, comme le montre la figure 3.

Depuis l'origine, l'exploitation est placée sous la direction de l'ingénieur en chef, M. H. Roscher.

Au début, l'installation que nous représentons en plan dans la figure 4 comprenait les moteurs suivants, fournis par la *Berlin Anhaltischen Maschinenbau Aktien-Gesellschaft* :

2 moteurs système Otto de 60 chevaux effectifs chacun et tournant à raison de 140 tours à la minute;

1 moteur système Otto, de 30 chevaux, faisant également 140 tours à la minute;

1 moteur de 8 chevaux, dont la vitesse était de 160 tours à la minute.

Les deux premiers consommaient, par cheval-heure, 730 litres de gaz à pleine charge et 1000 litres à mi-charge; le second, 850 litres à pleine charge et 1100 litres à mi-charge; le troisième, à pleine charge, 900 litres. Ce sont des consommations élevées pour des moteurs de cette puissance.

Chacun des moteurs de 60 chevaux commandait une dynamo Edison de 35000 watts (110 volts); le moteur de 30 chevaux, une de 23000 watts (110 volts) et enfin, le petit moteur de 8 chevaux, une de 5000 watts. Toutes ces machines étaient commandées par courroies; les deux premières tournaient à raison de 800 tours,

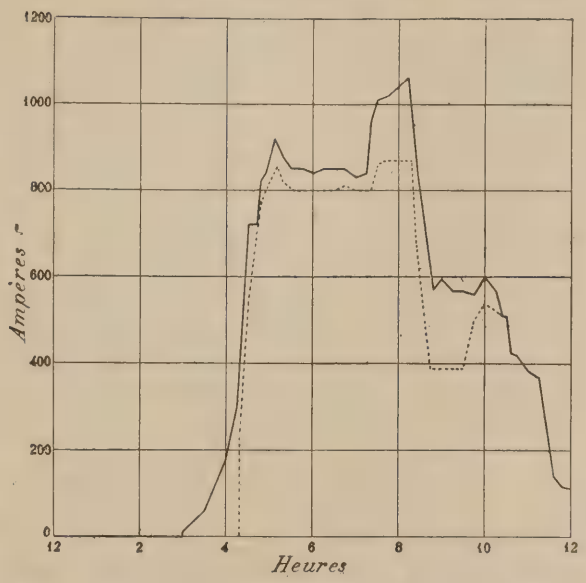


Fig. 2. — Diagramme de la consommation extraordinaire due au séjour de l'empereur d'Allemagne à Dessau, le 5 décembre 1889.

la seconde de 900 tours, et la troisième de 1800 tours à la minute.

Une batterie d'accumulateurs, système de Khotinsky, d'une capacité de 180 ampères-heures était également en service.

A l'origine, le petit moteur de 8 chevaux (donnant habituellement 10 chevaux effectifs) était employé pour l'éclairage diurne et pour la mise en marche des grands moteurs, qu'on faisait tourner selon la demande de courant.

Pour refroidir les moteurs et les paliers des dynamos, on emploie une circulation d'eau qui passe dans trois réservoirs en fer forgé dont la surface totale de refroidissement est de 100 mètres carrés. Un injecteur fonctionnant par l'eau sous pression de la canalisation urbaine

est placé entre les réservoirs et les moteurs, afin de vaincre la résistance considérable au mouvement dans les conduites et de pouvoir régler la température à volonté.

On peut employer aussi, pour assurer l'approvisionnement d'eau, une petite pompe mue par un moteur électrique de 1 cheval.

Avec cette disposition, la consommation d'eau

Fig. 3. — Réseau d'éclairage électrique de la ville de Dessau.
A, station centrale; B, palais impérial; C, théâtre; D, palais ducal.

— y compris la quantité importante que nécessite le refroidissement des paliers des dynamos — calculée d'après la moyenne annuelle, s'élève à 23 ou 24 litres par cheval-heure; avec des appareils plus parfaits, tels qu'il en existe actuellement, on pourrait travailler dans des conditions plus économiques.

Les tableaux de commande et de distribution

étaient placés près des dynamos dans une pièce spéciale située au-dessus de la forge ; à côté étaient installés le bureau et le laboratoire.

Cette première installation fonctionnait très bien ; la marche des moteurs a été rendue tellement silencieuse qu'une personne placée dans la pièce voisine ne pourrait dire si les gros moteurs sont en marche ou non. Rien qu'une fumée blanche inodore trahit l'activité de l'usine.

Elle a été modifiée à plusieurs reprises afin de la faire profiter de tous les perfectionnements suggérés par l'expérience; la station actuelle peut être prise comme un modèle du genre.

En 1887, on installa une batterie d'accumulateurs système de Khotinsky, d'une capacité de 300 ampères-heures, qu'on chargeait avec le petit moteur de 8 chevaux; son rendement était très mauvais : 40 o/o seulement, en 1887, et 52 o/o en 1888, après différentes modifications; elle demanda de fréquentes et coûteuses réparations; aussi résolut-on de l'abandonner, sans toutefois renoncer aux avantages que présentait l'emploi des accumulateurs.

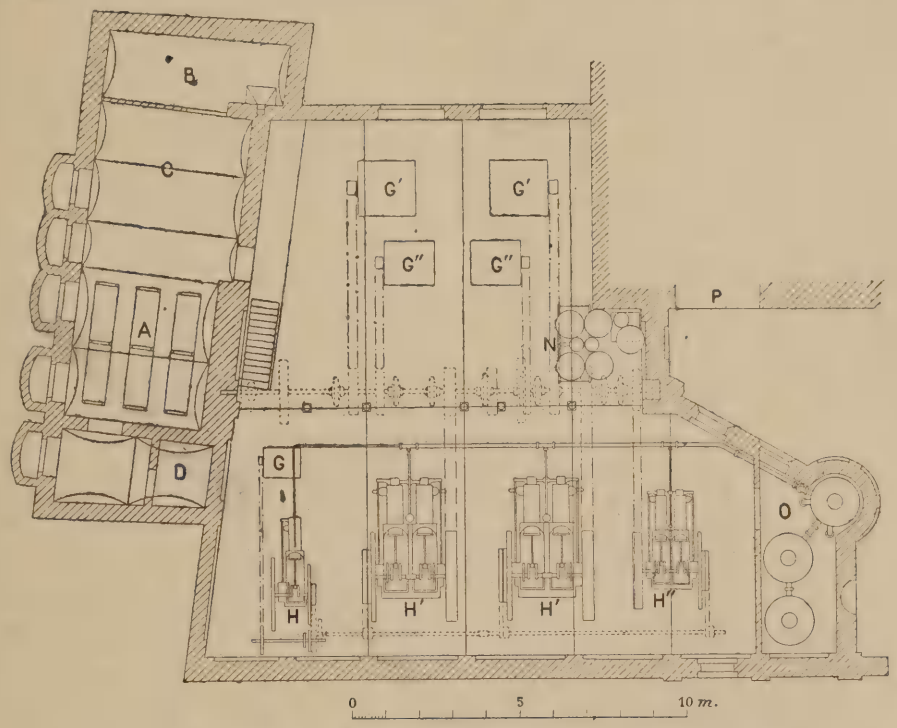


Fig. 4. — Plan de l'usine d'éclairage électrique de Dessau en 1886.
A, batterie d'accumulateurs d'une capacité de 300 ampères-heures; B, forge; C, cave à huile; D, calorifère; G, dynamo Edison, P. 50; G', dynamo Edison, P. 400; G'', dynamo Edison, P. 300; H, moteur à gaz de 8 chevaux; H', moteur à gaz de 60 chevaux; H'', moteur à gaz de 30 chevaux; N, compteur à gaz; O, réservoirs à eau froide; P, fenêtre.

Dans le courant de l'été 1889, elle fut remplacée par une batterie de 63 éléments Tudor (Müller et Einbeck, Hagen) d'une capacité de 1700 ampères-heures qui est encore en service aujourd'hui.

La nouvelle batterie absorbe toute la puissance d'un des deux moteurs de 60 chevaux et peut allumer 600 lampes pendant 5 à 6 heures avec son propre courant; en temps ordinaire elle est montée en parallèle avec la dynamo. Après l'installation de cette batterie, on a dû remplacer une des deux grandes dynamos par une nouvelle machine de plus haute tension (140 volts) dont la puissance était ainsi élevée à 45000 watts — contre 35000 watts, puissance de l'ancien modèle, — afin de parer à la perte dans les accumulateurs. La puissance totale de toutes les dynamos s'élevait ainsi à 108000 watts.

Le rendement de la nouvelle batterie est très bon ; en le mesurant avec deux compteurs Aron soigneusement étalonnés on a obtenu les chif-

tres suivants, que nous avons déjà eu occasion de reproduire [1] :

Rendement en watts des accumulateurs, année 1890.

Janvier.....	75 o/o	Juillet.....	76 o/o
Février.....	86	Août.....	70
Mars.....	70	Septembre...	77,5
Avril.....	80	Octobre.....	92,8
Mai.....	74	Novembre...	79,2
Juin.....	79	Décembre....	77
Moyenne.....	78,9.		

Depuis son installation, cette batterie n'a demandé aucune grosse réparation et que fort peu d'entretien; son rendement a été de 78,87 en 1889, 78,9 en 1890 et de 79,3 en 1891.

L'adoption de cette batterie fit reconnaître la nécessité d'un emploi différent des moteurs à la station centrale; en dépit de leurs puissances échelonnées, les moteurs de l'installation primitive fonctionnaient souvent à des charges très variables et bien en dessous de leur puissance

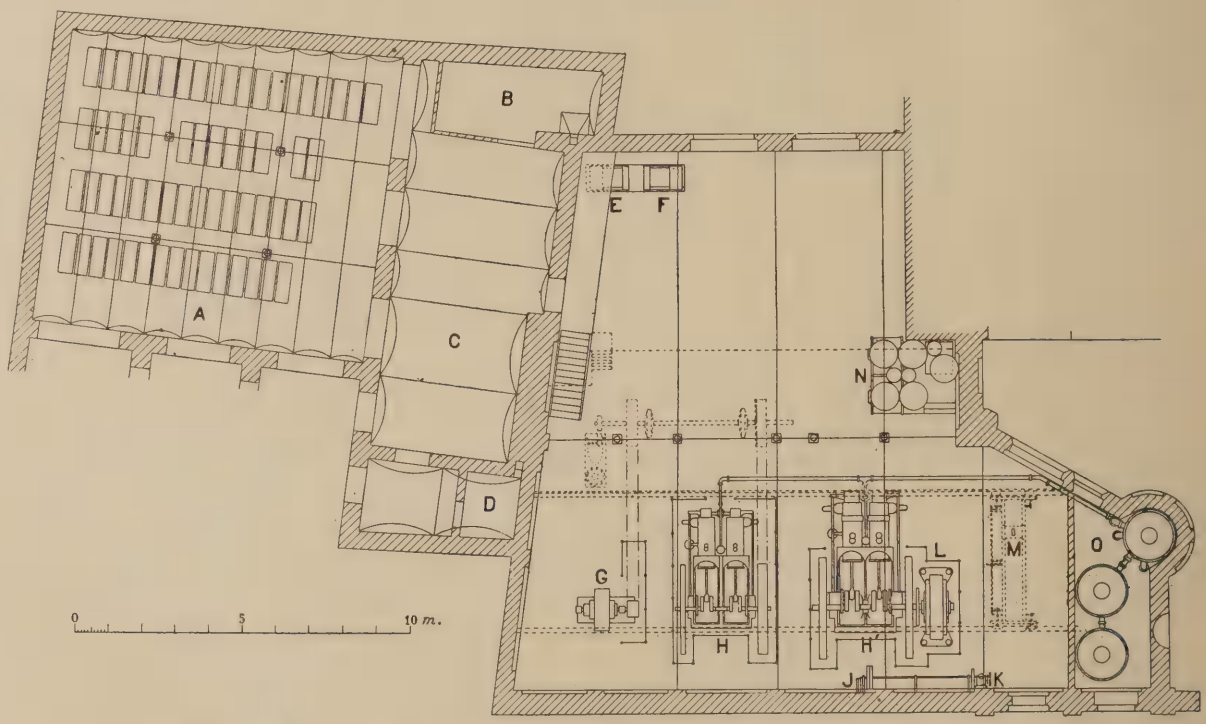


Fig. 5. — Usine d'éclairage électrique de Dessau après la reconstruction, en 1891. Plan.
A, batterie de 63 éléments Tudor n° 34; capacité, 170 ampères-heures; B, forge; C, cave à huile; D, calorifère; E, dynamo supplémentaire; F, moteur électrique de 20 chevaux; G, dynamo A E G — G 400; H, moteur à gaz de 60 chevaux; H', moteur à gaz de 120 chevaux; J, moteur électrique de 1 cheval; K, Pompe à eau; L, dynamo Fritsche D; M, pont roulant; N, compteurs à gaz; O, réservoirs à eau froide.

nominale, c'est-à-dire dans des conditions très défavorables. Pour parer à ce grave inconvénient, on a adopté le mode de travail suivant : tandis qu'à l'origine, le moteur de 8 chevaux et celui de 30 chevaux étaient employés aux heures de faible charge, on ne les employa plus qu'occasionnnellement, comme appoint aux grands moteurs lors d'une demande exceptionnellement grande. Les accumulateurs sont chargés par le moteur de 60 chevaux tournant à pleine charge au moment de la plus forte consommation ; ils assurent ensuite l'éclairage pendant la journée; les moteurs fonctionnent ainsi à pleine charge dans les conditions les plus économiques. Les courbes de la figure 1 représentent d'une façon très claire le résultat obtenu : les traits pleins se rapportent à la demande de courant et les traits pointillés au travail des moteurs.

La moitié seulement environ du débit total est fournie par les accumulateurs; le reste de la consommation est assuré directement par les dynamos. Sur cette partie, on a à subir une perte de

[1] *La Lumière Electrique*, t. XLV, p. 573.

21 à 22 o/o du fait des accumulateurs, ce qui représente une perte de 10 à 11 o/o environ sur le débit total; la perte due au mauvais rendement des moteurs fonctionnant à faible charge était beaucoup plus considérable .

En effet, non seulement le petit moteur de 8 chevaux consommait 900 litres de gaz par cheval-heure tandis qu'un moteur de 30 chevaux ne consomme que 850 litres et le moteur de 60 chevaux 730 litres, mais à faible charge, la consommation s'élève beaucoup au-delà de ces chiffres. La dépense de gaz pour faire tourner à vide le moteur de 60 chevaux est de 16 mètres cubes à l'heure; elle s'élève ensuite de 460 litres par cheval-heure utile produit, en sorte qu'à mi-charge, la consommation par cheval-heure effectif est de 1000 litres contre 730 litres à pleine charge. Pour le moteur de 30 chevaux, ces chiffres sont à vide 7500 litres à l'heure et 600 litres par cheval-utile, soit 850 litres à pleine charge et 1100 à mi-charge.

Aussi, la consommation de gaz, qui était de 4205 litres par kilowatt-heure vendu en 1886, tomba-t-elle, par suite de l'emploi des accumulateurs et du meilleur usage des moteurs, à 2643 litres en 1887, 2344 litres en 1888; 1964 litres en 1889; 1740 litres en 1890 et 1593 litres en 1891. Si l'on compare les années 1888 et 1891, avant et après le changement d'exploitation, on voit une économie de 53 o/o environ, plus que suffi-

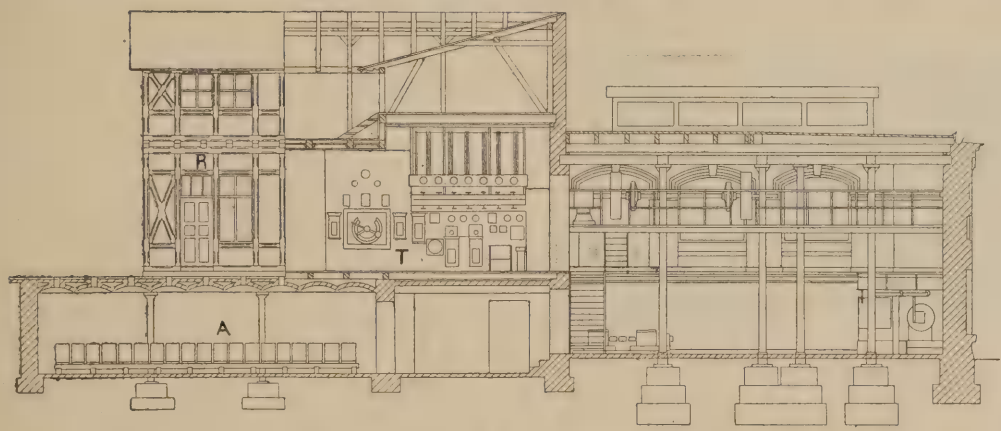


Fig. 6. — Usine d'éclairage électrique de Dessau après la reconstruction, en 1891. Elévation.
A, salle des accumulateurs en contre-bas sous la cour; R, werk-statt; T, tableaux de commande et de distribution.

sante pour compenser la perte due aux accumulateurs et l'augmentation de capital provenant de l'acquisition de la batterie [1].

L'économie d'eau est encore plus considérable par suite de la réduction des heures de marche des moteurs : de 62 litres par cheval-heure, elle est tombée à 33,7 litres en 1889, et 21,1 litres en 1891.

En résumé, le nouveau mode d'exploitation montra de tels avantages que les promoteurs de l'entreprise résolurent de reconstruire la station sur des bases nouvelles.

L'installation actuelle fut prête en octobre 1891 ; nous la représentons en plan dans la figure 5 et en élévation dans la figure 6.

Les moteurs sont réduits à deux : un des anciens moteurs de 60 chevaux et un nouveau moteur de 120 chevaux; celui-ci est couplé directement à une dynamo Fritsche, de 140 volts et 600 ampères, faisant 150 tours à la minute, tandis que le premier actionne, par courroies, à la vitesse de 700 tours, une dynamo de 140 volts et 320 ampères, construite par la *Allgemeine Elektricitats Gesellschaft.*

La consommation à vide du grand moteur est de 37 mètres cubes à l'heure; il demande ensuite 380 litres par cheval-heure produit, ce qui correspond à 690 litres par cheval-heure à pleine charge.

L'emploi de ces moteurs est particulièrement avantageux dans une installation électrique par suite de la facilité de mise en marche que procure l'emploi des dynamos comme moteurs avec le courant des accumulateurs, suivant le dispositif que M. Roscher a adopté depuis bientôt

[1] L'introduction de la batterie augmenta de 15 o/o le capital engagé, et éleva de 38 o/o la capacité de l'usine.

trois ans. D'ordinaire, pour la mise en activité des gros moteurs, on est obligé d'avoir recours à un moteur de faible puissance qu'on fait partir en tournant à la main son volant, et qui sert ensuite à entraîner le grand moteur. Cette manœuvre compliquée, qui nécessite un moteur supplémentaire et, par conséquent, un capital et un terrain inutilisés en temps ordinaire, est complètement supprimée dans le cas présent et la mise en marche s'effectue avec la plus grande facilité.

Il fallait cependant prendre soin de ne pas renverser la polarité des inducteurs des dynamos, ni le sens de la rotation; le courant qui doit traverser les dynamos lorsqu'on les emploie comme moteurs est d'environ la dixième partie

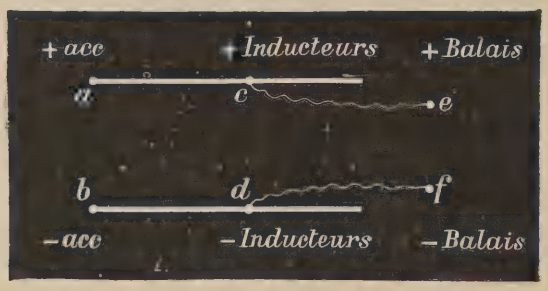


Fig. 7. — Commutateur pour la mise en marche des moteurs à gaz.

de leur courant de régime; la nécessité s'imposait donc d'intercaler une résistance assez considérable dans le circuit des accumulateurs. Voici la description d'un commutateur proposé pour effectuer simplement toutes ces opérations.

Il se compose de deux cavaliers parallèles reliés par une traverse isolée et qui pivotent dans des godets à mercure *c* et *d* (fig. 7) reliés au circuit d'excitation; ils peuvent plonger à volonté dans des godets *a* et *b* ou *e* et *f* qui sont respectivement en communication avec la batterie et avec les balais des dynamos; entre *c* et *e*, *d* et *f*, on intercale une résistance variable.

Pour effectuer la mise en marche, on fait basculer les cavaliers à gauche; le courant des accumulateurs traverse les résistances *c e* et *d f* qui le réduisent à la valeur convenable; lorsque le moteur est entraîné, on incline les cavaliers à droite; les balais sont alors reliés directement aux inducteurs et la dynamo se trouve dans ses conditions normales de fonctionnement.

Les appareils de refroidissement des cylindres et des paliers des dynamos sont les mêmes que dans l'installation première.

La batterie se compose de 63 éléments Tudor, d'une capacité totale de 1700 ampères-heures; c'est la même que celle dont nous avons déjà parlé; elle est installée en contre-bas, sous la cour.

Une pompe mue par un moteur électrique de 1 cheval assure l'approvisionnement d'eau; enfin, un pont roulant muni d'appareils de levage électriques facilite la manœuvre des pièces en cas de changement ou de réparation.

On voit sur la figure 6 la disposition du tableau de commande et de distribution qui est placé dans une pièce isolée contiguë à la salle des machines.

La distribution se fait suivant le système à deux fils, avec artères; il y avait, en 1891, 3451 mètres de câble double, du système Siemens et Halske, armé de bandes d'acier et mis sous plomb.

La capacité actuelle de l'usine est de 2500 lampes de 16 bougies (50 watts), mais le faible nombre de lampes allumées par rapport au nombre de lampes installées ainsi que l'élasticité des dispositions adoptées ont permis de dépasser de beaucoup cette limite; le nombre d'appareils reliés actuellement correspond à 3908 lampes de 16 bougies. Nous reviendrons du reste bientôt sur les questions statistiques.

Toute l'usine est chauffée par un calorifère de cave; un atelier de réparations permet de remettre en état sans aucun retard toute pièce du matériel qui aurait subi une avarie. L'ensemble de la construction est très simple et très bien compris, et cette installation peut être prise comme type d'une station centrale employant les moteurs à gaz.

G. Pellissier.

(*A suivre*).

SUR LES MOUVEMENTS VIBRATOIRES

DANS UN MILIEU ISOTROPE

M. E. Mercadier a donné dans les *Comptes rendus* des séances de l'Académie des sciences (26 décembre 1892 et 2 janvier 1893) deux notes

sur ce qu'il appelle la forme générale de la loi du mouvement vibratoire dans un milieu isotrope.

Dans sa seconde note (milieu isotrope vibrant illimité), il retombe en définitive, comme il devait être, sur la relation bien connue qui existe entre la vitesse de propagation, l'élasticité et la masse spécifique.

Mais dans sa première note (corps isotrope de dimensions et de forme géométrique déterminées), il suppose qu'il existe une relation entre n, le nombre des vibrations du corps par seconde; φ, une fonction de ses dimensions géométriques; δ, sa masse spécifique, et q, son élasticité.

Or, dans ce cas encore, on doit retrouver la relation classique qui lie la vitesse de propagation, l'élasticité et la masse spécifique, et si M. Mercadier a cru trouver une relation nouvelle, c'est qu'il a mal posé le problème, qui doit être traité de la manière suivante:

Le corps est ébranlé par des vibrations d'une certaine longueur d'onde l, et d'une certaine période t. Si l, t, δ, q sont liés par une loi, l'équation des dimensions correspondante sera:

$$\underset{\text{Période}}{T} \quad \underset{\text{Longueur d'onde}}{L^n} \quad \underset{\text{Élasticité}}{(M L^{-1} T^{-2})^p} \quad \underset{\text{Masse spécifique}}{(M L^{-3})^q} = 1$$

dans laquelle n, p, q sont des exposants à déterminer, l'exposant de T ayant été fait égal à 1.

L'homogénéité, par rapport aux trois grandeurs fondamentales, donne:

$$\begin{aligned} &\text{Pour M, } 0 = p + q; \\ &\text{— L, } 0 = n - p - 3q; \\ &\text{— T, } 0 = 1 - 2p. \end{aligned}$$

Il en résulte

$$p = \frac{1}{2}, \qquad q = -\frac{1}{2}, \qquad n = -1,$$

et l'on obtient, en remontant de l'équation des dimensions à l'équation physique, la relation connue:

$$\frac{l^2}{t^2} = v^2 = A\frac{q}{\delta}.$$

Nous la mettrons sous la forme:

$$\frac{1}{t} = A\sqrt{\frac{q}{\delta}}\,\frac{1}{l}, \qquad (a)$$

qui se rapproche de celle de M. Mercadier.

Observons en passant que si t est exprimé en secondes et devient par conséquent un nombre, $\frac{1}{t}$ est aussi un nombre; le nombre n de vibrations par seconde dont parle ce savant et auquel il assigne à tort pour dimension $\frac{1}{T}$. Sans faire intervenir le nombre de vibrations pendant l'unité de temps, il eût été plus correct de n'envisager que le temps de la vibration.

La formule (a), qui a été d'ailleurs vérifiée par l'expérience, traduit la relation qui doit exister entre la longueur d'onde l et la période t pour toutes les vibrations que le corps défini par q et δ est susceptible de recevoir.

Parmi ces vibrations, il en est dont la longueur d'onde est commandée par la forme géométrique du corps. Ce sont évidemment celles que M. Mercadier a envisagées, d'une manière trop absolue d'ailleurs. Ce sont celles sur lesquelles l'expérience a porté plus spécialement. Dans un tuyau sonore, la longueur d'onde principale est définie par les nœuds ou les ventres des extrémités; elle est indépendante du milieu.

Les expériences de M. Blondlot sur les diélectriques liquides ont montré également la constance de cette longueur d'onde, pour un résonateur donné, dans différents milieux.

Mais, en dehors de ces sons fondamentaux, de ces vibrations fondamentales, il y en a une infinité d'autres. Les expériences de MM. Sarasin et de la Rive l'ont fait voir pour les ondulations hertziennes.

Il ne faut donc pas laisser supposer qu'un corps a une vibration, et une seule.

Maintenant la première note de M. Mercadier montre que, pour une forme géométrique donnée, il existe une relation simple entre la longueur d'onde l et les principales dimensions géométriques, et pas autre chose.

L'homogénéité fait, jusqu'à un certain point, prévoir cette relation; l'expérience seule la détermine.

Dans la recherche synthétique d'une loi, il y a trois phases:

1° La détermination des grandeurs physiques qui entrent dans le phénomène;

2° La détermination de la formule physique qui en résulte et pour laquelle intervient l'homogénéité obligatoire;

3° La vérification expérimentale de cette formule.

Il était intéressant dans l'espèce de montrer

comment, en appliquant cette marche méthodique, on déduisait purement et simplement, d'une loi classique, les résultats dont M. Mercadier s'occupe dans ses deux notes.

CLAVENAD.

CHRONIQUE ET REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

Les moteurs à gaz dans l'éclairage électrique, par M. E. Dowson (1).

D'après l'auteur, les moteurs à gaz installés dans la Grande-Bretagne pour l'éclairage électrique excèdent en puissance 7000 chevaux ; en Allemagne, des moteurs à gaz alimentent 1100 arcs et 9000 lampes à incandescence. Toutefois, ce n'est que depuis deux ou trois ans que l'on sait construire des moteurs à gaz de grandes puissances. Le facteur de charge très variable des stations centrales est un grand inconvénient, et l'auteur pense qu'une grande partie de la perte éprouvée sur le combustible, l'eau et les salaires pourrait être évitée si l'on remplaçait les machines à vapeur par des moteurs à gaz.

On peut citer, comme installation de ce genre, la station centrale de Dessau, appartenant à la Compagnie continentale de gaz. Cette station a été ouverte en 1886 avec deux moteurs à gaz de 60 chevaux, un de 30 chevaux et un autre de 8 chevaux, tous alimentés par le gaz de la ville, et actionnant les dynamos par courroies et transmissions. En 1891, on a introduit des changements considérables. On conserva un des moteurs à 60 chevaux avec sa transmission et l'on en ajouta un autre de 120 chevaux, directement accouplé sur sa dynamo. La vitesse angulaire de la machine était de 145 tours par minute, et la consommation en gaz d'éclairage de 1,1 m³ par kilowatt-heure. On trouva cette combinaison plus avantageuse, malgré la perte de 21 o/o dans les accumulateurs dont on se servait.

Depuis février 1889, la municipalité de Schwabing, faubourg de Munich, emploie un moteur Otto avec du gaz Dowson pour 10 arcs et 300 lampes à incandescence. La charge est variable ; avec une puissance moyenne de 22,5 kilowatts, la consommation de combustible est de 1,5 kilog. par kilowatt-heure.

La ville de Morecambe est éclairée par neuf lampes à arc et des lampes à incandescence équivalant à 1600 lampes de 8 bougies. Les dynamos sont actionnées par des moteurs Stockport, alimentés par du gaz Dowson. Avec un débit de 1155 kilowatts-heures seulement par semaine, la consommation de combustible est de 1,17 kilog. par kilowatt-heure ; le gaz ne revient, y compris les salaires, qu'à 5 centimes par kilowatt-heure.

Au château de M. Say, à Longpont, dans le midi de la France, 650 lampes à incandescence et un arc sont alimentés par une dynamo qu'actionne un moteur Crossley consommant du gaz Dowson. La consommation de combustible est de 1,22 kilog. par kilowatt-heure.

C'est M. W. Siemens qui a le premier fait remarquer qu'en brûlant du gaz d'éclairage dans un moteur actionnant une dynamo, on pouvait produire beaucoup plus de lumière électriquement qu'en brûlant le gaz directement. Le rendement des moteurs à gaz a été augmenté depuis, et le rapport des quantités de lumière produites par ces deux méthodes, indirecte et directe, est maintenant d'environ 20 à 1, si l'on considère le cas de la lampe à arc. L'auteur a recueilli de nombreux chiffres relatifs au prix de revient de la lumière électrique produite par des moteurs à gaz. La moyenne de toutes ces données, pour des charges très variables et des machines travaillant sans accumulateurs, indique une consommation de gaz de 1,34 mètre cube par kilowatt-heure. En employant des accumulateurs, la consommation est moindre, parce que les machines peuvent travailler continuellement à pleine charge.

Avec 1,34 mètre cube par kilowatt-heure et en comptant 55 watts pour une lampe de 16 bougies, une heure d'éclairage par une lampe de cette puissance ne nécessite que 74 litres de gaz ; tandis qu'un brûleur Argand consomme 142 litres par heure.

La question du facteur de charge est importante pour toute espèce de moteurs ; mais les pertes qui résultent de sa faible valeur sont moindres avec les moteurs à gaz qu'avec les machines à vapeur. Quand on arrête un moteur à gaz, on fait aussi cesser la consommation de

(1) Communication à l'Institution of Civil Engineers.

combustible, et pour le remettre en route aucune dépense de mise sous pression n'est nécessaire. Dans les conditions où se trouvent les stations centrales de distribution, qui doivent toujours être prêtes à pouvoir fournir la puissance totale qu'elles peuvent développer, en dehors du matériel de réserve, la consommation moyenne est supérieure à 2,7 kilog. par kilowatt-heure, quand on se sert d'accumulateurs, et de 4 à 6 kilogrammes sans emploi d'accumulateurs. Dans tous les cas, on brûle avec les machines à vapeur beaucoup de combustible ne produisant aucun travail utile.

L'auteur croit que la suppression de cet inconvénient est un des grands avantages des moteurs à gaz ; dans les conditions de pleine charge, le moteur à gaz consomme moitié moins de combustible que la machine à vapeur.

Blanchiment de la tourbe, procédé Cannot (1891).

Le principe de ce procédé, dont le but est de blanchir les fibres de la tourbe assez pour en faire du papier de bois, consiste à les soumettre à l'action énergique d'une dissolution d'hypochlorite de soude obtenue, d'après l'inventeur, économiquement et sans danger de la façon suivante.

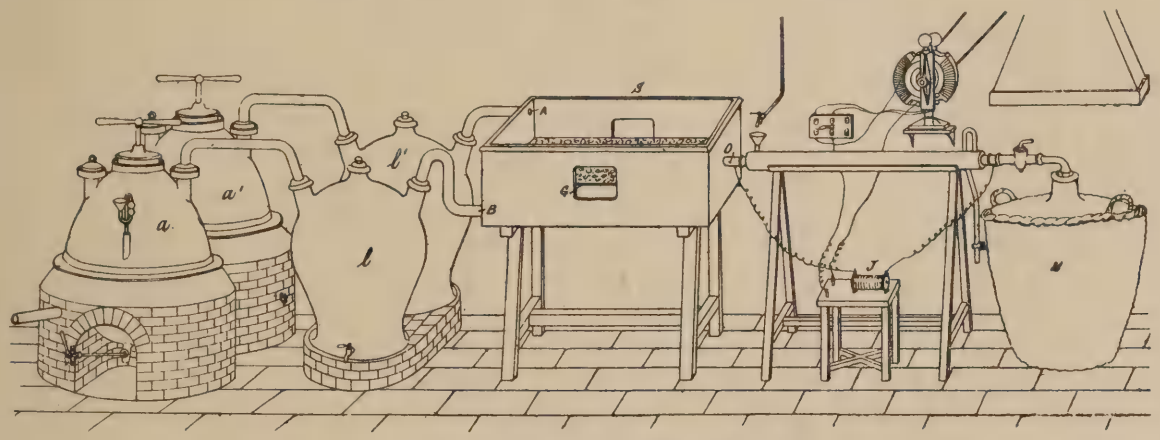


Fig. 1. — Cannot. Procédé de blanchiment.

Le chlore et l'oxygène destinés à former l'acide hypochloreux sont préparés dans les cornues en plomb *a* et *a'* (fig. 1) par la réaction de l'acide sulfurique d'une part et de l'acide chlorhydrique de l'autre sur le peroxyde de manganèse ; puis ces gaz, lavés en *l* et *l'*, dans de l'eau pour l'oxygène et dans une dissolution de sel marin pour le chlore, vont se sécher et se mélanger dans la boîte E. Le chlore de densité 1,33, arrive en A, et l'oxygène, de densité 1,05, arrive en B, de sorte que ces gaz se mélangent et se sèchent naturellement au travers de la toile G, garnie de pierre ponce.

Ainsi mélangés et séchés, l'oxygène et le chlore passent à l'ozoniseur représenté en détail par la figure 2. Cet appareil comprend deux parties principales :

1° Un tube de verre, *c*, de 8 millimètres de diamètre, de 2 millimètres d'épaisseur et de 1,50 m. de long, traversé puis enroulé par un fil de cuivre platiné, électrisé par une bobine d'induction J ; 2° un gros tube de verre D entourant le petit tube.

Les gaz traversent ces tubes et l'ozonisation de l'oxygène fait qu'il se combine énergiquement au chlore pour former de l'acide hypochloreux sous une température maintenue aux environs de 18° par une circulation d'eau GH. Cet acide hypochloreux s'en va ensuite se dissoudre dans une solution de soude canalisée en N, où il forme une dissolution très forte d'hypochlorite de soude de densité 1,23.

La fibre de tourbe est d'abord bouillie, sous une pression d'une atmosphère, dans une dissolution à 3 o/o de carbonate de soude, pendant une heure, puis, pendant une autre heure, dans une dissolution d'hypochlorite de soude à 2 1/2 o/o (ou 1/2 Baumé), lavée à fond, à l'eau pure, et macérée dans de l'eau additionnée de 2 o/o d'acide chlorhydrique, pendant six

heures, en la retournant de temps en temps. On lave encore une fois cette fibre, jusqu'à neutralité parfaite, puis on la plonge dans un bain tenant de 0.5 à 5 o/o d'acide hypochloreux, suivant l'usage auquel on destine la fibre, où on la soumet à un blanchiment final, activé par des

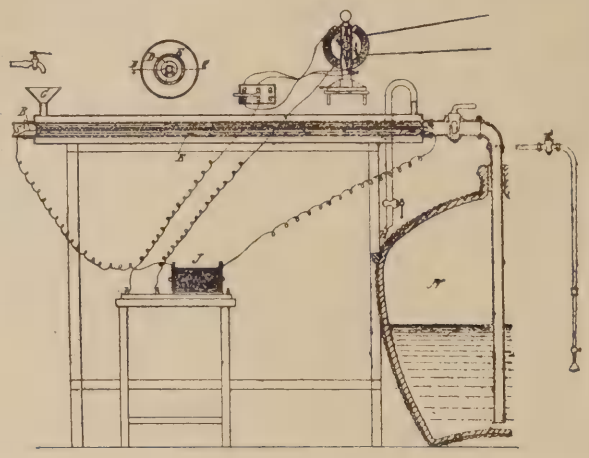


Fig. 2. — Cannot. Blanchiment.

agitateurs et par une circulation énergique du liquide.

D'après l'inventeur, on retirerait, par kilogramme de peroxyde de manganèse, 0,183 k. d'oxygène, suffisant pour blanchir environ 175 kilog. de fibres de tourbe.

G. R.

Relais télégraphique Safford (1892).

Ce relais comprend (fig. 1) une clef de Morse K, un levier A à trois électro-aimants B, C, D, et un sounder X.

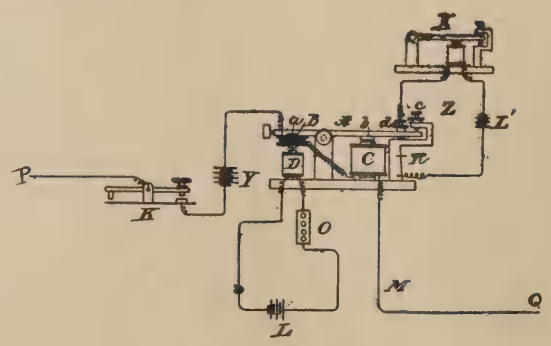


Fig. 1

L'électro B est à fils fins et fixé au levier A; il est monté, ainsi que le deuxième électro à fils fins C, en série sur la ligne P K X M Q, tandis que le troisième électro D, à gros fil, est monté sur le circuit auxiliaire L, à rhéostat O. Enfin, le levier A a ses courses limitées par deux pointes, l'une en platine *d* et l'autre isolée *c*.

Quand il ne passe pas de courant, D attire B de façon à appliquer le levier A sur *c*; mais, dès que l'on ferme la clef K, les pôles de B et de D, en regard et de même nom, se repoussent, tandis que C, attirant *b*, amène la pointe *d* sur R, ce qui ferme le circuit L' du sounder X. On peut, au moyen du rhéostat O, régler l'attraction de D de manière que le relais réponde exactement aux mouvements de la clef d'émission, même si le courant de ligne est affaibli par une perte entre les stations P et Q.

G. R.

Téléphone domestique Anders et Kottgen (1892).

Cet appareil comprend un transmetteur fixe et un récepteur mobile.

Quand le récepteur, à diaphragme 11, est, comme en figure 1, enfoncé dans le transmetteur, la boule isolante 19, repoussée de la position (fig. 4) à la position 5, rompt le contact de la lame 17 avec le bouton 18, de sorte que le cou-

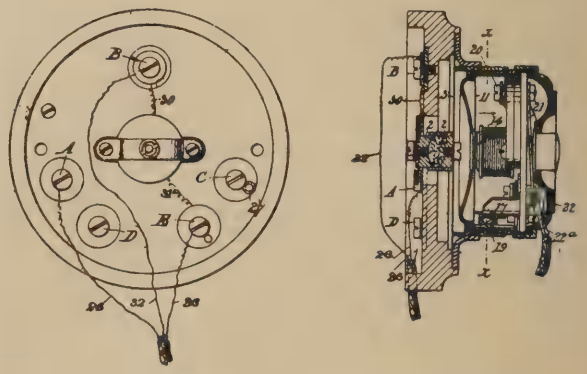


Fig. 1 et 2. — Téléphone Anders et Kottgen.

rant, amené de la ligne en A, suit dans l'appareil le trajet suivant. Il passe par 26, la borne 20, la clef 21, le contact 12, la vis 22_a et la pièce 23, à l'enveloppe du transmetteur, qui l'amène, par la vis 27 et la borne C, à la sonnerie, à la borne de sortie D, puis au fil de retour 28.

Lorsqu'on presse le bouton 21, le courant de sonnerie ou d'appel passe d'une pile locale à A, par 32, 24^a, 24, 21, 26, l'autre pôle de la pile, étant relié par 33 à la borne D.

Pour parler, on enlève le récepteur et le courant passe par 25, A, 27, 20, 34, les électros 14 du récepteur, 35, 24_a, la lame 17, alors (fig. 4) en contact avec 18, le fil 36, la borne E, le fil 31, le

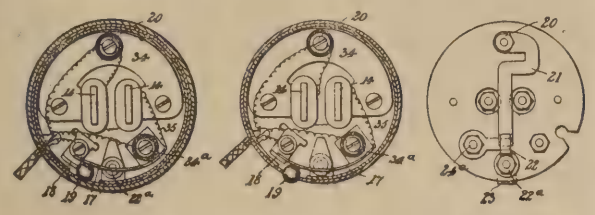


Fig. 3 à 5. — Téléphone Anders et Kottgen.

microphone transmetteur 2 2, le fil 20, les bornes B D et le fil de retour 28.

Le microphone transmetteur est, comme l'indique la figure 1, constitué par une masse de coton carbonisée, prise entre deux pastilles de carbone 2, 2, facilement ajustables, et dont l'une est fixée au diaphragme 3.

G. R.

Anti-inducteur pour tableaux multiples Scribner (1892).

Le fonctionnement de ce dispositif est facile à comprendre d'après les figures schématiques ci-jointes (fig. 1 et 2).

La ligne $a\,a'$ se boucle par l'annonciateur b et les springs $d\,d^1\,d^2$... avec dérivation de a sur les bagues d'épreuve $c\,c\,c$... et dérivations de a' sur le fil intermédiaire compensateur a_2. Normalement, tous les ressorts d ferment leurs contacts c_2, de sorte que le courant d'appel, sur $a\,a'$, fait tomber l'armature b, et que les inductions mutuelles de a sur a' s'équilibrent, Dès que l'on enfonce une fiche e, par exemple, le circuit a

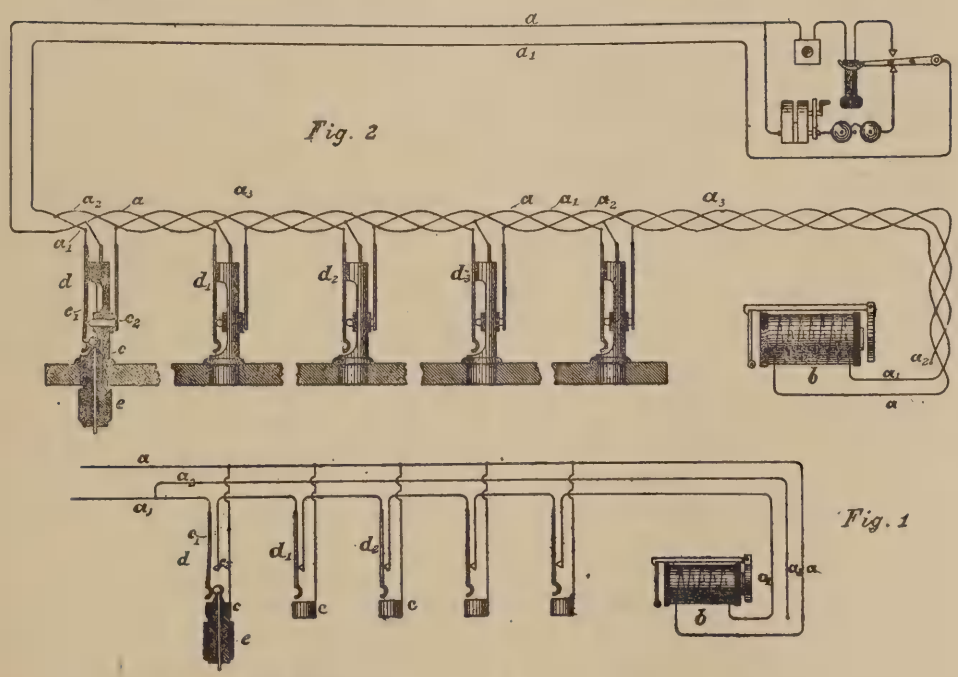


Fig. 1 et 2. — Tableaux multiples Scribner.

est rompu en c^2, mais son induction sur a reste compensée par celle de a^2, pourvu que a_2 soit suffisamment éloigné de a, ou enroulé entre a et a', comme en figure 2.

G. R.

Frein électromagnétique de Bovet (1892).

Ce frein fonctionne à l'aide de deux circuits courant tout le long du train : l'un, le principal, $a\,b$ relié en dérivation aux freins c, c... et alimenté par les accumulateurs M, N des extrémités du train, et l'autre auxiliaire, $b\,c$, alimenté par la petite batterie p. Ce dernier circuit, normalement fermé, rompt alors le circuit des freins par les solénoïdes $b_1\,b_1$, et le laisse se fermer quand il s'ouvre par la manœuvre du mécanicien, ou accidentellement, comme par la rupture d'un accouplement, chacune des gran-

des batteries M et N étant, en raison de cette hypothèse, assez puissante pour actionner tous les freins du train.

Chacun des freins se compose essentiellement d'une poulie à adhérence électromagnétique C (fig. 1) [1] calée sur l'essieu, entre les flasques polaires *b b* de laquelle s'emboîtent les tasseaux ou sabots en fer ou en fonte *z* de la bande *y*, articulée par les menottes croisées *b d*, *c a'* à une barre *a v* ou à un cadre *v v* (fig. 9 et 10) fixé directement aux boîtes à graisse, de manière que la position de la bande ne soit pas influencée par les flexions des ressorts de suspension. Il en résulte que la magnétisation de la poulie C détermine immédiatement un serrage énergique. Le desserrage s'opère, à la suite de la rupture du circuit *a b*, soit par la seule élasticité des bandes, aidée par les trépidations du wagon, ou par une interversion très courte du courant, ou enfin par l'aimantation d'un anneau *a* A (fig. 5),

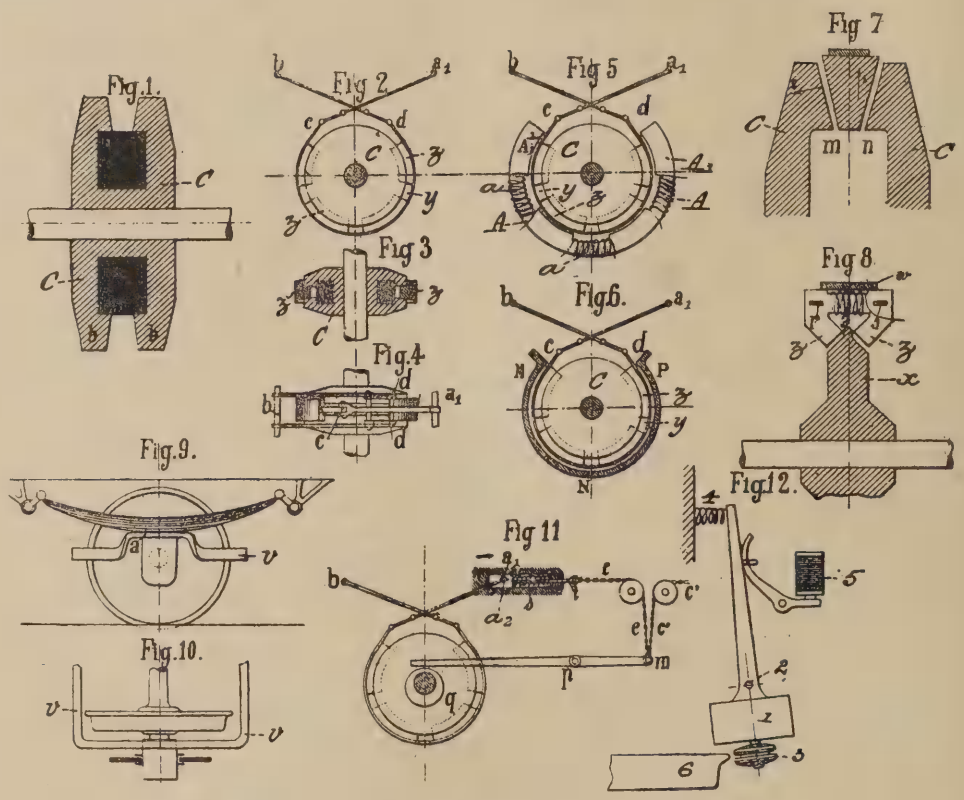


Fig. 1 à 12. — Frein électromagnétique de Bovet.

de manière que ses pôles A décalent les sabots *z*.

En l'absence de cet électro annulaire, il faut entourer la bande *c y* d'une garde en bronze M N P (fig. 6) qui la protège et limite son recul au nécessaire pour le décollement des sabots, avec un dispositif spécial pour éviter l'introduction des graviers et des poussières.

On peut, comme l'indique la figure 8, magnétiser, au lieu de la poulie *x*, les sabots *z*, *z* attachés en *r* et *s* à la bande, et avec leurs enroulements *x* protégés par une garde *w*.

En figure 11, le circuit des freins maintient normalement, au moyen d'un électro-aimant, le levier *p m* hors de la portée de la came *q*, calée sur l'essieu, en le déplaçant latéralement : mais dès la rupture du circuit, ce levier tombe sur la came qui, à chaque tour, serre les freins avec une force déterminée par la traction du ressort *s* sur la chaîne *e e'*, qui accouple les deux freins de chaque voiture.

En figure 12 le courant serre-freins est pro-

[1] *La Lumière Électrique*, 5 décembre 1891, p. 452 ; 8 et 29 octobre 1892, p. 62 et 212.

duit par une petite dynamo 1, dont l'armature est actionnée par une petite poulie électromagnétique 3, qui vient au contact du bandage 6,

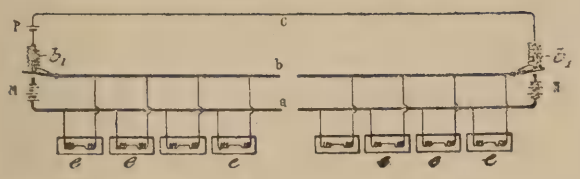


Fig. 13. — Frein électromagnétique de Bovet.

sous la poussée du ressort 4, dès que l'électro 5 du circuit *p* (fig. 13) cesse d'être excité et lâche son armature.

G. R.

REVUE DES TRAVAUX

RÉCENTS EN ÉLECTRICITÉ

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du 1er février 1893.

M. Frank Géraldy, avec le remarquable talent d'exposition qu'on lui connaît, présente le travail de *M. A. Hess* sur *les diélectriques hétérogènes*. Nos lecteurs connaissent cette étude (1); relevons seulement dans la communication de M. Géraldy la remarque suivante : la pratique journalière nous permet de constater que nos isolants industriels sont bons, puisque des câbles en fonctionnement depuis des années ne donnent pas lieu à une déperdition sensible d'électricité au travers de leur couche isolante; quand il se présente une fuite de courant, elle n'est due qu'à un défaut mécanique que l'on peut toujours localiser.

M. Géraldy expose ensuite les nouvelles conséquences que M. Hess a déduites et qui sont relatives aux pertes d'énergie à l'intérieur d'un diélectrique. On sait de longue date que sous l'influence d'une charge alternative beaucoup de diélectriques s'échauffent, quelquefois d'une façon considérable. M. Steinmetz (2) s'est proposé de mesurer la perte d'énergie qui résulte de ce fait; en faisant varier la force électromotrice alternative appliquée, il a constaté que cette perte d'énergie était proportionnelle au carré de la force électromotrice. Or, M. Steinmetz pensait se trouver en présence d'un phénomène d'hystérésis diélectrique et assimilait la loi trouvée à celle qu'il avait établie pour l'hystérésis magnétique. D'autre part, cette même loi peut être dérivée des calculs de M. Hess, qui montre la cause de la perte d'énergie dans les variations de charge des corps conducteurs à l'intérieur du diélectrique.

Entre ces deux ordres d'idées il y a une différence fondamentale. Dans l'hystérésis magnétique la perte par cycle est constante, du moins à très peu près, quelle que soit la vitesse avec laquelle le cycle est parcouru. Voyons comment varient ces éléments dans le diélectrique hété-

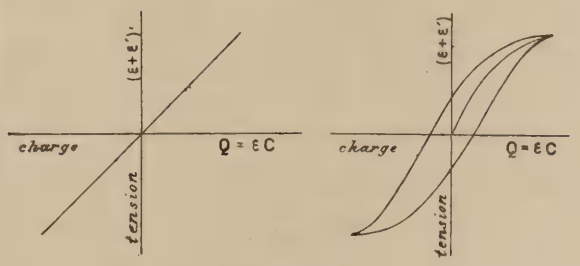


Fig. 1 et 2.

rogène. Portons en abscisses les quantités d'électricité absorbées par le diélectrique, et en ordonnées les tensions déterminées par ces quantités. Si nous passons très lentement du minimum de la force électromotrice extérieure — E au maximum + E, le condensateur conducteur C' ne se chargera pas sensiblement, ε' sera très faible, et ε + ε' sera en fonction de Q = ε C presque une droite (fig. 1); au retour de + E à — E nous revenons par cette droite. Au contraire, si nous passons de + E à — E, et de — E à + E, très brusquement la courbe aura la forme d'une boucle (fig. 2) tout à fait analogue à celle de l'hystérésis magnétique, et dont la surface représentera précisément l'énergie perdue dans la variation cyclique. Cette analogie pourrait donc augmenter l'illusion et faire songer à l'hystérésis diélectrique. Mais il faut remarquer que la forme de la courbe dépend essentiellement de la vitesse avec laquelle le cycle est parcouru.

Si, comme semblent l'admettre MM. Stein-

(1) *La Lumière Électrique*, t. XLVI, p. 401 et 507.
(2) *La Lumière Électrique*, t. XLIV, p. 95.

metz, Riccardo Arno [1] et d'autres auteurs, la perte d'énergie sous l'influence d'un champ électrostatique alternatif est due à l'hystérésis diélectrique, cette perte devra être indépendante de la fréquence; il en sera autrement si la dissipation d'énergie est le résultat des conductions intérieures mises en évidence par M. Hess.

L'expérience, conclut M. Géraldy, tranchera la question.

M. Picou appelle l'attention sur ce fait que dans les câbles couverts de gutta-percha on observe dans les premiers jours qui suivent la fabrication une augmentation graduelle de l'isolement apparent, et il demande si la théorie permet de trouver la cause de cette variation.

M. Géraldy fait observer qu'en dehors des contractions et autres déformations mécaniques auxquelles peut être sujet un corps aussi complexe que la gutta-percha, on peut donner l'ex-

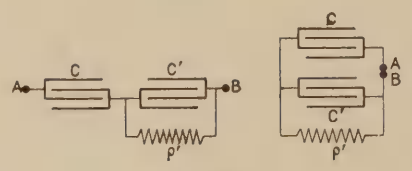


Fig. 3 et 4.

plication suivante. La première mesure faite sur le câble à la sortie de la machine a pour effet de le charger. Pour faire disparaître cette charge on a l'habitude, dans la pratique, de réunir en court circuit les deux armatures du câble. Or, il est facile de montrer que l'on se place ainsi dans des conditions qui tendent à ralentir considérablement la décharge. En effet, si l'on met en court circuit les deux armatures, ou les points extrêmes A et B du montage figure 3, on obtient le schéma figure 4. On voit immédiatement que les deux condensateurs, loin de se décharger sur un court circuit, se déchargent sur la très grande résistance ρ'. Dans le cas plus complexe où nous considérons trois condensateurs en tension (fig. 5) la réunion en court circuit des armatures A et B (fig. 6), fait que le condensateur C se décharge sur un système tel que C' ρ' C'' ρ'', qui n'admet que des déplacements très lents d'électricité.

Après une mise en court circuit très prolongée le câble conserve donc une charge résiduelle, de sorte qu'une mesure subséquente donne des intensités de charge plus faibles que la première mesure, et l'on est amené à conclure à un isolement plus élevé.

M. Géraldy cite à ce propos une expérience de M. Hess, dans laquelle un câble à gutta, après une première charge, mis en court circuit pendant seize heures puis isolé pendant une heure, indiquait encore au galvanomètre balistique une décharge résiduelle de plus de 1/500 de la charge initiale.

M. Arnoux croit que, étant donné la présence de l'eau dans beaucoup d'isolants industriels, il serait utile de tenir compte de l'électrolyse. Il fait remarquer que les isolants sont d'autant plus intéressants à étudier qu'ils donnent lieu à des phénomènes que les corps conducteurs peuvent aussi présenter, mais avec des carac-

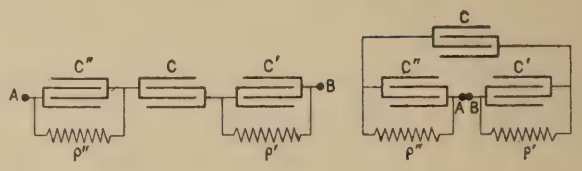


Fig. 5 et 6.

tères moins propres à l'investigation expérimentale que dans le cas des isolants.

Les compagnies américaines d'éclairage électrique qui exploitent les procédés Edison ont mis le conducteur intermédiaire de leur canalisation à la terre depuis plusieurs années déjà. Elles se sont déclarées satisfaites à tous les points de vue des résultats obtenus par cette pratique; les accidents, qui étaient presque quotidiens auparavant, ont à peu près disparu. La compagnie Edison, à Paris, a agi de même depuis plus d'un an.

Un incendie s'étant déclaré dernièrement à Londres dans des conditions telles qu'on crut devoir l'attribuer à une terre accidentelle, la question de la mise à la terre permanente fut discutée à nouveau.

M. Picou examine dans quelles conditions elle peut être effectuée.

Il fait d'abord remarquer qu'en France aucun règlement administratif ne s'oppose à cette pratique; le retour par la terre est interdit, mais la

[1] *La Lumière Electrique*, t. XLVI, p. 537.

mise à la terre n'est pas visée. En Amérique, la Commission du contrôle électrique de New-York l'a défendue; les compagnies ont répliqué qu'il résulterait de sa suppression de graves inconvénients dont la responsabilité retomberait sur la Commission; elles n'ont rien changé à leur installation et on ne les a pas inquiétées.

Les accidents qui proviennent d'une terre accidentelle sont de deux ordres :

1° Les actions calorifiques;

2° Les actions électrolytiques.

Quand on emploie des tensions élevées, les premiers se présentent le plus souvent, car les défauts, même minimes, s'aggravent rapidement et l'intensité du courant qui passe devient considérable.

Les actions électrolytiques sont cause de la plupart des accidents observés sur les canalisations à courant continu et à basse tension. Les câbles sont coupés parfois par l'attaque qu'ils subissent, et, ce qui est plus grave, les canalisations de gaz voisines sont corrodées et percées par l'électrolyse des sels contenus dans la terre.

Si l'on considère une canalisation simple, formée seulement d'un générateur et d'un fil extérieur isolé, on voit que deux points sont au potentiel zéro à l'état normal et peuvent, par conséquent, être mis sans inconvénient à la terre : ce sont le milieu du générateur et le milieu de la canalisation. En pratique, ce dernier point n'est pas facile à atteindre, car il se trouve la plupart du temps dans les fils des abonnés; il vaut mieux mettre à la terre le point milieu du générateur. Si l'on n'emploie qu'une seule dynamo, il faudrait établir deux balais équidistants des balais principaux et les réunir à la terre. Cette disposition ne serait pas pratique, car la paire de balais auxiliaires serait le siège d'étincelles continues et puissantes. On pourrait aussi disposer une sorte de compensateur de Thomson et mettre à la terre le point neutre équivalent ainsi obtenu.

Dans le cas d'une distribution à trois fils, avec deux machines accouplées en série, le point neutre se trouve évidemment au point de jonction du câble intermédiaire, à l'usine, et c'est ce point qu'il faut mettre à la terre, ce qui n'offre aucune difficulté.

Nous avons admis une canalisation simple, c'est-à-dire ne comprenant que le générateur et un circuit isolé; dans le cas d'une distribution par usine centrale, le nombre de lampes allumées variant sans cesse et l'isolation du circuit n'étant jamais parfaite, il passe toujours un certain courant par le fil de terre. On disposera un coupe-circuit pour que ce courant ne puisse dépasser une valeur limite; cette condition est importante.

Dans le cas des courants alternatifs, chaque point de la canalisation passant constamment par des potentiels différents, il vaut mieux ne mettre aucune partie à la terre.

M. Picou donne la description d'un indicateur de terre qu'il a inventé pour les circuits à courants alternatifs.

Nous représentons cet indicateur figure 7.

Il comprend deux condensateurs C C′ dont les

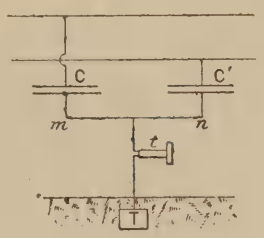


Fig. 7

armatures extérieures sont réunies par un fil *m n* et dont les armatures intérieures communiquent respectivement avec les deux conducteurs parcourus par le courant alternatif. Le fil de jonction *m n* est relié à la terre par un fil où est intercalé un téléphone *t*. Tant que tout est en équilibre, aucun courant ne passe dans ce dernier fil, mais si une terre vient à se produire en un point quelconque de la canalisation, le téléphone se met à parler. Les courants qui passent alors dans ce fil T*t* pourraient même être assez forts pour actionner une sonnerie.

Il est un cas, pourtant, où l'on peut mettre à la terre une canalisation à courants alternatifs; c'est celui qui se présente dans l'emploi des courants triphasés groupés en étoile; le point de jonction au centre de l'étoile reste toujours, comme on sait, au potentiel zéro et peut sans inconvénient être mis à la terre.

Pour parer aux effets nuisibles de l'électrolyse sur les canalisations voisines, on pourrait mettre à la terre le fil négatif de la distribution; si une terre accidentelle venait à se produire, il serait

attaqué, mais il le serait seul et les canalisations du voisinage ne seraient pas endommagées, ce qui est un avantage évident.

Il faut avoir soin d'obtenir des terres aussi parfaites que possible et de les proportionner à l'intensité du courant qui doit les traverser.

M. Bochet signale un genre d'accident qui s'est présenté plusieurs fois et qui pourrait être

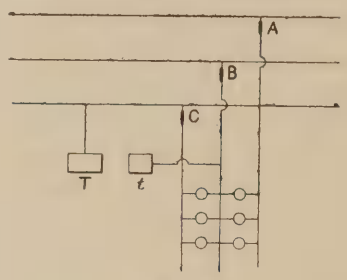


Fig. 8

évité par la mise à la terre du fil intermédiaire. Si une terre se produit à la fois sur le fil intermédiaire d'un branchement et sur un des conducteurs extrêmes de la canalisation, comme le représente la figure 8, le plomb fusible placé en B pourra fondre par suite du courant intense qui se produira; dès lors, le conducteur intermédiaire du branchement se trouvera porté au

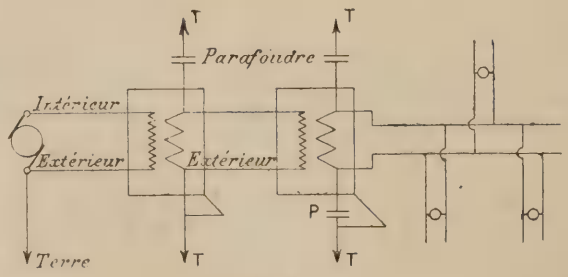


Fig. 9

même potentiel que le conducteur C et les lampes seront brûlées.

M. Arnoux présente aussi quelques observations sur le même sujet. Il insiste sur ce point que les effets de l'électrolyse ne pourront être complètement éliminés qu'en maintenant les conducteurs à l'abri de l'humidité, soit en les plaçant dans des égouts où l'installation et la surveillance seraient faciles, soit en ventilant constamment les caniveaux. La première solution est adoptée dans un grand nombre de villes américaines; la faible durée des concessions et le prix élevé des égouts qu'il aurait fallu construire ont empêché les sociétés françaises d'agir de même.

Quant à la mise à la terre des canalisations à courants alternatifs, sa seule raison d'être serait la sécurité du public; c'est ainsi que, pour ne pas permettre qu'une différence de potentiel considérable puisse exister entre le conducteur extérieur de ses câbles concentriques et la terre en cas d'accident, M. Ferranti, dans la canalisation de la London Electric Supply Company, a réuni ce conducteur extérieur à la terre dans les deux canalisations à 10000 et 2400 volts. Dans la première, cette communication est faite près de la dynamo et, dans la seconde, près des bornes de l'enroulement secondaire du transformateur, comme l'indique la figure 9. Les boîtes des transformateurs sont aussi reliées à la terre.

G. P.

Recherches expérimentales sur les transformateurs à courants alternatifs, par M. J.-A. Fleming [1].

7. L'application de la méthode des trois voltmètres à des transformateurs à circuit magnétique fermé, c'est-à-dire ayant un grand facteur de puissance à vide, a montré qu'il était possible d'obtenir de bonnes déterminations de la puissance, quoique le nombre des instruments à observer soit un inconvénient. Mais avec des transformateurs à faible facteur de puissance, comme le « hérisson » de Swinburne, les difficultés étaient beaucoup plus considérables. L'explication de ces difficultés a été donnée par MM. Ayrton et Sumpner dans leur mémoire sur « la mesure de la puissance [2] ».

En supposant que les courants et les potentiels varient harmoniquement, ces auteurs montrent que si la même erreur relative e est faite dans la lecture de chaque voltmètre, l'erreur relative sur la puissance calculée est

$$\sqrt{\frac{2 + 4(1 + \cos\Phi)^2}{\cos^2\Phi}} \text{ fois } e,$$

où l'on peut prendre pour $\cos\Phi$ approximativement le même nombre que ce que nous avons appelé le facteur de puissance.

Donc, si $e = 1$ et $\cos\Phi = 0{,}75$, le facteur est

[1] *La Lumière Electrique*, t. XLVII, p. 239.
[2] *La Lumière Electrique*, t. XL, p. 189.

5; mais si $e = 1$ et $\cos \Phi = 0{,}06$, le facteur est 40. En d'autres termes, une erreur de 1 o/o dans la lecture des voltmètres ne donne qu'une erreur de 5 o/o sur la puissance lorsqu'on essaie un transformateur à circuit magnétique fermé; mais la même erreur de 1 o/o sur les volts entraîne une erreur de 4 o/o sur la puissance dans l'essai d'un transformateur « hérisson ». Ces différences sont visibles dans les tableaux III et IV du mémoire de l'auteur, où l'on a réuni les valeurs individuelles trouvées dans différentes occasions.

Dans la première série d'observations (tableau III), R était maintenu constant, et la valeur de V_1 variait légèrement; dans les deuxième et troisième séries (tableau IV), V_1 était maintenu absolument constant. La troisième série était effectuée dans les meilleures conditions de précision. La valeur moyenne de la puissance absorbée par le « hérisson » à circuit secondaire ouvert était dans ces expériences respectivement de 155, 101 et 85 watts. La moyenne des moyennes est de 114 watts. La moyenne des 30 déterminations faites par la méthode des trois voltmètres est de 112 watts. Ce résultat est obtenu avec le transformateur « hérisson » de 3000 watts à une fréquence de 83 à 88 périodes par seconde. La plus forte valeur de la puissance est de 171 watts, la plus faible de 64, et la plus grande déviation de la moyenne est de 49 watts, soit environ 50 o/o.

On voit donc que ce transformateur ne se prête pas aux déterminations par la méthode des trois voltmètres. Toutefois, comme on le verra plus loin, la valeur moyenne de 115 watts obtenue ne semble pas s'écarter beaucoup de la valeur réelle.

8. L'étude pratique de la méthode des trois voltmètres nous a conduit aux conclusions suivantes:

1° Cette méthode n'est applicable que lorsqu'on dispose d'une tension alternative suffisamment constante, ce qui n'est généralement pas le cas dans les ateliers ni dans les installations alimentées par un réseau de distribution;

2° Par suite du grand nombre d'instruments à observer, il est difficile de la mettre en pratique sans l'assistance de plusieurs observateurs;

3° Il est particulièrement difficile, sinon impossible, de se servir de cette méthode pour l'essai de transformateurs à circuit magnétique ouvert et ayant un faible facteur de puissance;

4° A moins de réaliser toutes les conditions de précision maxima les résultats ne méritent pas grande confiance, comme l'indique la formule pour le calcul de la puissance.

9. Pour la mesure de la puissance absorbée par des transformateurs chargés, on employait les dispositions indiquées plus haut. Le circuit secondaire débitait sur des lampes dont on mesurait la tension par un voltmètre multicellulaire Kelvin, et le courant par une balance Kelvin.

Les résultats d'une double série d'observations sur un transformateur Ferranti de 5 chevaux (ancien type), et ceux obtenus avec un « hérisson » de 3000 watts sont enregistrés dans les tableaux V, VI, VII et VIII.

Dans ces tableaux les trois premières colonnes donnent la tension, l'intensité du courant et la puissance débitée P_2 du circuit secondaire; la quatrième colonne donne le courant primaire; la cinquième, la valeur de la résistance sans induction en série avec le primaire; les sixième, septième et huitième colonnes contiennent les indications des voltmètres V_1, V_2 et V_3; la colonne 9 représente la valeur calculée de la puissance fournie au circuit primaire; enfin, les deux dernières colonnes se rapportent aux valeurs $P_1 - P_2$, ou à la puissance totale dissipée dans le transformateur et au rapport $\frac{P_2}{P_1}$, rendement.

Tableau V. — Transformateur Ferranti (type 1885). N° 747. — Puissance = 5 chevaux. Volts secondaires = 100. Fréquence employée, 81,7 périodes par seconde. Température finale du transformateur, 100° C. Tension primaire V_1 = 2400 volts. Résistance du circuit primaire = 12,5 ohms à 100° C. Résistance du circuit secondaire = 0,0252 ohm à 100° C.

Ce tableau montre que le courant primaire augmente de 0,336 à 1,516 ampère. Les ampères secondaires varient de 0 à 30,07, les volts secondaires diminuent de 100,4 à 99,2. La puissance totale dissipée par le transformateur augmente de 516 à 571 watts.

Tableau VI. — Transformateur Ferranti (type 1885). N° 747. — Puissance = 5 chevaux. Volts secondaires = 100. Fréquence employée, = 84,8 périodes par seconde. Température finale du transformateur, 100° C. Volts primaires V_1

= 2400. Résistance du circuit primaire = 12,5 ohms à 100° C. Résistance du cirduit secondaire = 0,0252 à 100° C.

Les ampères primaires s'élèvent de 0,329 à 1,9. Les ampères secondaires s'élèvent de 0 à 39,19; les volts secondaires baissent de 100,9 à 98,5. La puissance totale dissipée dans le transformateur monte de 500 à 720 watts.

Tableau VII. — Transformateur « hérisson » Swinburne. N° 342. — Puissance = 3000 watts. Volts secondaires = 100. Fréquence employée = 83,7 périodes par seconde. Température finale du transformateur, 64° C. Volts primaires V_1 = 2400. Résistance du circuit primaire = 24 ohms à 63° C. Résistance du circuit secondaire = 0,051 ohm à 63° C.

L'intensité de courant primaire monte de 0,738 à 1,578 ampère. Les ampères secondaires s'élèvent de 0 à 30,1, et les volts secondaires tombent de 102 à 99. La puissance totale dissipée dans le transformateur varie entre 81 et 209 watts.

Tableau VIII. — Transformateur « hérisson » Swinburne. N° 342. — Puissance = 3000 watts. Volts secondaires = 100. Fréquence employée = 82,3 périodes par seconde. Température finale du transformateur, 63° C.

Le tableau VIII montre que les ampères primaires 'montent de 0,76 à 1,566. Les ampères secondaires s'élèvent de 0 à 29,93, et les volts secondaires tombent de 102,1 à 98,8. La puissance totale dissipée dans le transformateur varie entre 0 et 237.

La figure 4 montre une courbe représentant les valeurs $P_1 - P_2$ pour le transformateur Ferranti de 5 chevaux, d'après les résultats des tableaux V et VI. Les abscisses donnent les puissances débitées par le circuit secondaire, et

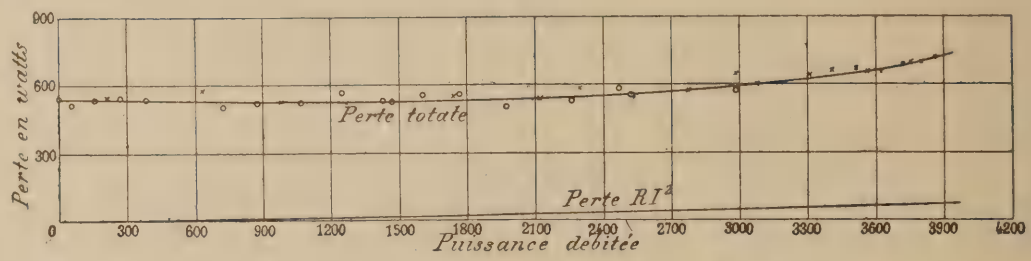


Fig. 1. — Transformateur Ferranti de 5 chevaux (type 1885).

les ordonnées les valeurs correspondantes de la perte totale et de la perte $R I^2$ dans le cuivre des deux circuits. La différence entre les ordonnées des deux courbes représente les pertes par courants de Foucault et par hystérésis.

On voit que la courbe supérieure reste presque parallèle à l'autre courbe et que, par suite, les pertes dans le fer ne semblent pas diminuer à mesure que la puissance augmente : elles ont plutôt tendance à augmenter. Il est beaucoup plus commode et plus instructif de tracer les courbes des pertes que de construire la courbe du rendement, car ces courbes des pertes permettent de se rendre compte immédiatement de la valeur relative de l'hystérésis et des courants de Foucault.

Les valeurs $P_1 - P_2$ pour le transformateur Swinburne, données dans les tableaux VII et VIII, sont si irrégulières qu'elles ne permettent pas de tracer les courbes, Le facteur de charge de ce transformateur est encore faible, même à pleine charge, et nous n'avons pas obtenu de résultats concordants par la méthode des voltmètres.

A. H.

(*A suivre*).

Sur une théorie électrolytique des diélectriques, par A.-P. Chattock (1).

Passons maintenant aux phénomènes de pyro-électricité. Soit k la constante pyro-électrique, c'est-à-dire le nombre d'unités électrostatiques d'électricité rendues libres sur un centimètre carré de la surface d'un cristal taillée normalement à l'axe de pyro-électricité. Si cette constante ne variait pas avec la température, la variation ρ de la densité superficielle, quand le cristal passe de l'état où les molécules de chaque chaîne sont au contact à celui dans lequel les

(1) *La Lumière Electrique* du 4 février 1893, p. 244.

chaînes moléculaires sont rompues, aurait pour valeur kT, T étant la température d'ébullition du cristal évaluée suivant l'échelle thermodynamique. Mais il est certain que k doit varier considérablement avec la température, et ce mode de calcul de ρ ne peut donner de bons résultats.

M. Chattock lui substitue le suivant. Pour amener les molécules au contact, il faut réduire l'unité de longueur de $1 - \sqrt[3]{\frac{1}{4,5}} = 0,4$. Par conséquent si α est le coefficient de dilatation linéaire du cristal, le quotient $\frac{0,4}{\alpha}$ donnera une valeur de l'abaissement de température, au-dessous de la température ordinaire, nécessaire pour amener les molécules au contact. On aura donc $T = \frac{0,4}{\alpha} + t$, t étant la température d'ébullition du cristal dans l'échelle centigrade, et par suite $\rho = k\left(\frac{0,4}{\alpha} + t\right)$. La température t n'est pas négeable par rapport à $\frac{0,4}{\alpha}$, mais comme elle est inconnue pour les cristaux pyro-électriques étudiés jusqu'ici, nous ne pouvons considérer que l'inégalité $\rho < \frac{0,4\,k}{\alpha}$, où le quotient $\frac{k}{\alpha}$ semble, pour des raisons trop longues à exposer, devoir rester constant.

De cette inégalité et de la relation $q = \frac{2\rho}{n}$ résulte cette nouvelle inégalité,

$$q > \frac{2 \times 0,4\,k}{n \times \alpha}.$$

D'après les expériences de Fizeau, $\alpha = 0,000009$ pour la tourmaline, et d'après Riecke $k = 1,3$ pour cette même substance. En portant ces valeurs dans l'inégalité précédente il vient :

$$q > \frac{2 \times 0,4 \times 1,3}{4 \times 10^{16} \times 9 \times 10^{-6}} > 3 \times 10^{-12};$$

ce qui donne une limite inférieure de q concordant avec la limite obtenue par la considération des phénomènes piézo-électriques, et qui, par suite, est encore de l'ordre de grandeur des charges ioniques.

Cette concordance des valeurs trouvées pour q par deux voies absolument différentes conduisit l'auteur à rechercher si l'hypothèse fondamentale de sa théorie ne serait pas capable de rendre compte de quelques autres propriétés communes à un grand nombre de corps. Cette recherche aboutit à une explication satisfaisante de la cohésion, de la capacité spécifique inductive des diélectriques et de la résistance qu'opposent ces corps au passage de l'étincelle.

Considérons d'abord la cohésion. Imaginons une infinité de chaînes moléculaires identiques à celle que nous avons considérée au commencement, parallèles entre elles et situées à une distance les unes des autres égale à la distance des molécules dans chaque chaîne; en d'autres termes, imaginons un mélange d'un certain nombre de molécules possédant des charges positives égales avec un même nombre de molécules possédant des charges négatives égales entre elles et égales en valeur absolue aux précédentes, toutes ces molécules étant également espacées. Pourvu que la distance entre ces molécules ne soit pas trop petite, toute surface tracée dans le mélange de telle sorte qu'elle passe entre les molécules pourra être regardée comme normale aux lignes de force émanant de chaque molécule. Le calcul montre que le sixième environ de ces lignes de force traverse la surface; ces lignes étant au nombre de $4\pi q$, on a $\frac{4\pi q}{6}$ pour celui des lignes qui traversent la surface. Par centimètre carré, le nombre des molécules est $\frac{1}{d^2}$; par suite, le nombre des lignes de force coupant la surface par centimètre carré, c'est-à-dire le flux de force à travers un centimètre carré, est $\frac{4\pi q}{6d^2}$. Or, on sait que la tension mécanique par unité d'aire qui s'exerce sur la surface est égale au quotient du carré de la quantité précédente par 8π; nous avons donc pour cette tension

$$\left(\frac{4\pi q}{6d^2}\right)^2 : 8\pi \text{ approximativement } \frac{q^2}{6d^4}$$

Cette expression suppose toutes les molécules électrisées à des distances égales. Or, d'après l'hypothèse fondamentale de la théorie, ces molécules tendent à s'accoupler deux à deux et cet accouplement est partiel dans les conditions ordinaires de température et de pression. Pour cette raison, la pression ci-dessus doit donner

une valeur trop grande pour la tension à travers l'unité de charge.

Cette tension mécanique a pour effet de tendre à rapprocher les molécules; cet effet peut être assimilé à la cohésion, de sorte que la valeur de la tension par unité de surface ne serait autre chose que la pression interne par unité. Or, cette pression est mesurée approximativement par la ténacité; par conséquent, il est possible de contrôler l'exactitude de l'explication en cherchant si la valeur de $\frac{q^2}{6\,d^4}$ est du même ordre de grandeur que la ténacité, ou inversement, en cherchant si l'on obtient des valeurs de q concordant avec les valeurs déjà trouvées lorsqu'on admet que $\frac{q^2}{6\,d^4}$ est égal à la ténacité.

C'est ce dernier mode de calcul que prend l'auteur. La ténacité des fibres de quartz étant environ 7×10^9, on a, en tenant compte de la diminution que l'accouplement des molécules fait subir à la tension mécanique à travers la surface, l'inégalité

$$\frac{q^2}{6\,d^4} > 7 \times 10^9$$

d'où l'on déduit

$$q = 5 \times 10^{-12}.$$

La concordance avec les valeurs précédemment trouvées est donc aussi satisfaisante que possible.

Passons maintenant au pouvoir inducteur spécifique. Si l'on place le mélange de molécules dans un champ électrique, les molécules positives se déplaceront dans le sens du champ, les molécules négatives dans le sens contraire, et des couches d'électricité libre se produiront sur les surfaces du corps normales au champ; ce sont les couches dites de polarisation que l'on considère ordinairement.

Par suite de ce déplacement, la distance d de deux molécules de charges contraires a varié de $2\,\delta$. Si donc M est le module de Young et n le nombre de molécules par centimètre carré d'une surface normale à la direction du champ, la force mécanique nécessaire pour produire ces variations est $2\,\frac{M}{n}\,\frac{\delta}{d}$. Mais si f est l'intensité du champ, chaque molécule positive est soumise à une force fq et chaque molécule négative à une force égale dirigée en sens inverse; par conséquent, on doit avoir

$$\frac{2\,M}{n}\,\frac{\delta}{d} = f\,q. \qquad (1)$$

Pour introduire le pouvoir inducteur spécifique, considérons une petite portion de la surface limitant le diélectrique, et telle qu'en un point de cette surface, la direction du champ soit celle de la demi-normale intérieure. Si l'intensité du champ est suffisante pour produire un déplacement des molécules, à partir de leurs positions d'équilibre, égal à d, les molécules positives de la portion de surface considérée prendront la place des molécules négatives qui se trouvaient devant elles suivant la direction du champ, et celles-ci prendront la place des premières. Mais les molécules négatives de la portion de surface se trouveront déplacées en sens inverse du champ et agiront comme des charges libres. En examinant ainsi de proche en proche l'effet du champ sur les couches de molécules situées sur des surfaces parallèles entre elles et normales à la direction du champ, on voit que les molécules intérieures des diélectriques ne font qu'interchanger leurs positions et que $\frac{n}{2}$ molécules négatives deviennent libres par unité d'aire de la portion de surface par laquelle le champ entre normalement, tandis que $\frac{n}{2}$ molécules négatives deviennent libres par unité d'aire de la portion de surface par laquelle le champ sort normalement. La densité des couches fictives est donc $\frac{n}{2}\,q$. Quand le déplacement au lieu d'être d sera δ, on aura pour la densité $\rho = \frac{n}{2}\,q \times \frac{\delta}{d}$. Mais on a aussi

$$\rho = \frac{K-1}{4\pi}\,f$$

donc

$$\frac{q\,n}{2}\,\frac{\delta}{d} = \frac{K-1}{4\pi}\,f \qquad (2)$$

En éliminant f entre les relations (1) et (2) et en remplaçant n par $\frac{1}{d^2}$, il vient

$$q = \sqrt{\frac{(K-1)\,M\,d^4}{\pi}}$$

L'application de cette formule à divers corps donne les résultats suivants :

Quartz	($K = 4,6$	$M = 7,5 \times 10^{11}$)	$q = 2,3 \times 10^{-11}$
Tourmaline	($K = 2,7$	$M = 1,3 \times 10^{12}$)	$q = 2,1 \times 10^{-11}$
Verre	($K = 7$	$M = 5,5 \times 10^{12}$)	$q = 2,6 \times 10^{-11}$

Si on l'applique aux liquides et aux gaz, on obtient des valeurs de q du même ordre, pourvu qu'on choisisse convenablement M. Mais nous ne pourrions suivre l'auteur dans les considérations qu'il développe à ce sujet sans allonger démesurément cette analyse. Bornons-nous à dire que pour l'eau et le sulfure de carbone on trouve

$$q = 1,2 \times 10^{-11}$$

et pour l'oxygène

$$1,2 \times 10^{-11}.$$

La considération des différences de potentiel nécessaire pour produire une étincelle dans un diélectrique conduit à deux méthodes pour le calcul de q. Indiquons seulement la plus simple, que l'auteur expose dans une note additionnelle à son mémoire [1].

Si T est la ténacité de la substance, la force nécessaire pour rompre une chaîne moléculaire est $\frac{T}{n}$ ou $T d^2$. D'autre part, si V est la différence de potentiel minimum qu'il est nécessaire de produire entre les faces d'une lame d'épaisseur s pour la percer par une décharge, $\frac{dV}{ds}$ est la valeur du champ dans le diélectrique et par suite $q \frac{dV}{ds}$ est la valeur de la force appliquée à chaque molécule. Puisque la décharge se produit pour cette valeur de la force, c'est que les chaînes moléculaires se trouvent alors rompues; par suite, on doit avoir

$$q \frac{dV}{ds} = T d^2$$

Si on applique cette formule au verre, on trouve

$$q = \frac{1}{2} \times 10^{-11}$$

valeur que l'auteur considère comme trop petite parce que le défaut d'homogénéité du verre doit réduire la valeur de T beaucoup plus que la valeur de $\frac{dV}{ds}$, mais qui est en tout cas du même ordre de grandeur que celles déjà trouvées.

C'est précisément cette concordance de résultats obtenus par des considérations si diverses qui a décidé M. Chattock à publier ce qu'il considère lui-même comme un embryon de théorie. Toutefois, il ne désespère pas de pouvoir expliquer les propriétés électriques des métaux par des considérations analogues à celles qui précèdent, malgré les difficultés qui se présentent quand on veut appliquer aux corps conducteurs son hypothèse fondamentale de l'existence de molécules possédant des charges de noms contraires.

J. B.

[1] *Philosophical Magazine*, t. XXXV, p. 76 (janvier 1893).

VARIÉTÉS

LE CAOUTCHOUC DU HAUT-ORÉNOQUE

I. — Provenance.

Aperçu de la question. — Pendant le cours de nos voyages dans l'Amérique du Sud, il était dans le programme que nous nous étions tracé de sonder les impénétrables et mystérieuses forêts parcourues et découvertes, au commencement du siècle, par le hardi de Humboldt; nous voulions essayer de leur arracher quelques-uns de leurs secrets. Aussi avons-nous été amené, entre autres choses, à faire une étude approfondie et complète d'essences botaniques les plus répandues dans ces contrées sauvages, des plus riches, et des plus intéressantes pour la science et l'industrie : nous voulons parler des arbres à lait donnant le caoutchouc et la gutta-percha.

La question est palpitante d'actualité : le caoutchouc, qui supporte mieux que la gutta les hautes températures, a fait son entrée dans l'industrie électrique; la gutta est, elle, d'une importance si capitale que, de ce côté, l'avenir de

la télégraphie sous-marine est gros de nuages, sinon même sérieusement compromis.

Nous parlerons d'abord du caoutchouc, matière que nous avons étudiée à fond dans notre exploration de 1888-1889, réservant pour une prochaine étude la question de la gutta-percha, élucidée seulement dans le courant de notre exploration de 1890, dans la Guyanne vénézuélienne.

Importance de ces forêts. — L'immense forêt d'arbres à lait, en général, et de caoutchoucs en particulier, qui s'étend le long de l'Amazone et de quelques-uns de ses gros affluents, tels que le Rio Branco, remonte le Rio Negro, le Pacimone et le Siapa, suit les deux rives de l'Orénoque, où elle s'éteint à peu près aux deuxièmes chutes de ce grand fleuve, dites *Randal de Maipures*; enfin, elle suit le Guaviare jusqu'en Colombie. Cette forêt, dans laquelle on trouve ces arbres en grand nombre, couvre une partie du Brésil, du Vénézuéla et de la Colombie; elle a à peu près la superficie de l'Europe. Nous l'avons parcourue, au cours de notre premier voyage, qui a duré près de deux ans, sur un espace de quinze cents kilomètres; nous avons pu constater qu'entre le Randal de Maipures et la frontière brésilienne, sur le Rio Negro, au point dit du *Cucui*, il y a environ trente millions d'hectares peuplés de caoutchoucs et de guttifères divers.

La seule voie de communication pour parcourir ces riches et luxuriantes forêts vierges est la rivière. C'est donc dans un canot, avec des Indiens, que nous avons pu les pénétrer, vivant parfois un mois dans un village indien, et alors essayant de les percer en profondeur, ou suivant les sentiers pratiqués par les récolteurs du caoutchouc.

Topographie. — Dans l'Orénoque, la présence de caoutchouc, avons-nous dit, comme celle de la gutta-percha, ne commence guère à apparaître qu'au-dessus du rapide ou *randal* de Maipures; les deux rives en sont également pourvues; ses affluents de gauche, la Vichada, le Ruparo, le Tomo, la Meseta et le Meta n'en contiennent pas en quantité appréciable; ainsi que, plus haut, l'Atabapo, et l'Irinida, cette dernière rivière si riche en *chiquichiqui* ou *piasava*; le tiers inférieur du Guaviare en est pauvre, mais au-dessus, en Colombie, il y a une nouvelle poussée fort abondante; les affluents de droite de l'Orénoque en sont également à peu près privés, tels que le *Catagnapo*, le *Sipapo*, le *Ventuario*, ce dernier fort riche, en revanche, d'huile de copahu, et de cacaos provenant de cacaoyères vraisemblablement plantées par les Espagnols.

La forêt d'arbres à lait est donc bornée à la vallée même, immense, de l'Orénoque; par contre, ces arbres sont d'une abondance extrême sur les deux rives du Cassiquiare, et sur tous les affluents de cet étrange et puissant canal naturel qui fait communiquer les deux gigantesques bassins de l'Orénoque et de l'Amazone; sur la rive gauche du Cassiquiare (le Cassiquiare coule de l'Orénoque vers le Rio Negro; il déverse donc une partie des eaux du premier fleuve dans la seconde rivière, le plus fort des affluents de l'Amazone), la forêt de caoutchouc s'étend jusqu'au Brésil, jusqu'à l'Amazone même. Le Guainia, ou Rio Negro vénézuélien (actuellement colombien), contient une variété un peu différente jusqu'à Maroa; là le caoutchouc devient rare et se retrouve ensuite en abondance vers la frontière, au-dessous de San Carlos; plus bas, on en rencontre un peu par intermittences, tout le long du Rio Negro, jusqu'à son confluent avec l'Amazone, à Manaos.

II. — Type de ce caoutchouc.

Le « Para ». — Le caoutchouc du bassin de l'Orénoque, connu sous le nom de caoutchouc de Ciudad Bolivar — cette ville ayant été jusqu'à ces dernières années et étant encore en partie le grand marché de ce caoutchouc, — est exactement le même que celui du bassin de l'Amazone, plus connu sous le nom de caoutchouc du Para (car le Para, où il ne se récolte que peu ou pas de caoutchouc, en est cependant aussi un grand marché). Le caoutchouc de Ciudad-Bolivar sort du même arbre, est coagulé par le même principe, la *fumée aromatique;* il est même exploité d'une manière analogue, sinon tout à fait semblable.

Tous ces caoutchoucs, les premiers du monde, sont donc un seul et même caoutchouc. Il faut du reste le dire, il est parfaitement inconnu; nous avons entendu un grand manufacturier de caoutchouc d'Europe nous soutenir que le caoutchouc coule de l'arbre sous forme de suc noir! Les savants ne vont pas jusqu'à cette erreur, par trop grossière; mais le mécanisme, le but du fumage, cette préparation essentielle

de tout bon caoutchouc, leur a échappé. « Pourquoi fume-t-on le caoutchouc? » avons-nous entendu demander, et nous avons répondu : « C'est parce que ces braves Indiens ont découvert, très

Caoutchouc, l'intensité est en raison de la richesse du caoutchouc.

Régions inconnues ou inexplorées.

Fig. 1. — Carte du bassin de l'Orénoque.

empiriquement, mais en observateurs profonds, que le caoutchouc n'était bon, solide et incorruptible *qu'à la condition d'être préparé à l'aide d'une antiseptie rigoureuse* ».

Les Indiens ont donc découvert, bien avant nous, il y a trente ans, l'antiseptie, et certes sans s'en douter!

Rien que des Hevœa. — Tous les caoutchoucs des bassins de l'Orénoque et de l'Amazone sont des *Hevœa*, arbres appartenant à la grande famille des *Euphorbiacées;* le caoutchouc de l'Orénoque n'est donc autre que le véritable *Siringa brasilensis*, ou *Siphonia elastica guianensis.*

Cependant, il y a plusieurs sortes d'*Hevœa* : nous avons pu jusqu'ici en établir quatre variétés dans le seul bassin de l'Orénoque, toutes très voisines et donnant une gomme semblable; sauf une, toutefois, que l'on ne rencontre guère, avons-nous dit, que dans le Haut-Guainia, nom du Rio Negro supérieur; mais il est probable qu'il en existe d'autres variétés, que nous n'avons pas étudiées, sur les rives de l'Amazone.

Quoi qu'il en soit, le caoutchouc produit est partout le même, le *Para*, sauf peut-être celui du Guainia, encore assez peu traité, et qui, lorsque la planche est fraîche, est d'un blanc un peu plus bleuté; il est aussi un peu plus dense et un peu moins élastique; mais quand la planche est sèche, il est impossible de la distinguer de celle du Para pur.

Ces caoutchoucs sont très différents de ceux qui nous viennent d'Afrique, et de Madagascar en particulier, généralement issus du *Ficus elastica*, qui est un Figuier et non un Hévé; ils lui sont en même temps très supérieurs, et le Para est de beaucoup le plus cher et le plus estimé, à cause de ses qualités diverses.

Autres espèces. — Cependant il existe dans l'Amazone et dans l'Orénoque une liane qui produit un lait exactement semblable à celui du ficus africain; celui-ci existe même dans les forêts du nouveau monde; mais généralement les indigènes le dédaignent, dans ces régions où les hevés sont si nombreux et si productifs, et quand ils l'exploitent, c'est pour mélanger les deux laits.

Chose bizarre, tandis que l'hévé est appelé *Siringa* au Brésil, il est appelé *Caucho* au Venezuela, où c'est précisément le Ficus que l'on appelle *Siringa.*

Tous ces caoutchoucs, dits du Para, arrivent uniformément sur les marchés européens sous forme de gros pains, pour les première, deuxième et troisième qualités, et sous forme de pelotes (*cernambi, tête de nègre*), pour les résidus.

III. — L'Hevœa

Botanique. — Nous n'insisterons pas sur les caractères botaniques des Hevœa, généralement assez bien traités dans toutes les bonnes histoires naturelles et dans les dictionnaires spéciaux, auxquels nous renvoyons le lecteur — de même que pour les propriétés physiques et chimiques du caoutchouc. — Rappelons que les fleurs sont monoïques et disposées en panicule, avec un calice partagé en cinq divisions; la corolle est non pas absente, comme on l'énonce généralement, mais atrophiée et rudimentaire; cinq étamines surmontent un ovaire un peu ovoïde, fuselé à l'extrémité, multiloculaire, muni de trois stigmates bilobés. Le fruit ressemble un peu à l'olive comme forme et comme couleur; c'est une capsule triloculaire, chaque loge contenant d'ordinaire deux graines à coque friable, à amande blanchâtre, huileuse et comestible, rappelant un peu le goût de la noisette sauvage; ces fruits arrivent à maturité au commencement de la saison des pluies, vers la seconde quinzaine d'avril ou la première semaine de mai. Ils sont comestibles pour l'homme, mais font surtout les délices des perroquets et des aras, qui s'abattent en masse à cette époque sur la cime des arbres qui les portent et s'y racontent leurs amours en un papotage assourdissant; les *piapocos (tucans)* en font également une grande consommation, les avalant d'un trait de leur immense bec en nez de carnaval. On peut obtenir des graines, par expression, une huile épaisse, bonne, à défaut d'autre, pour les besoins culinaires.

Disons quelques mots de la physiologie des *Hevœa* et des particularités assez curieuses qui les font immédiatement reconnaître des indigènes.

Physiologie. — Comme l'Euphorbe médicinale et la plupart des Euphorbiacées, le latex, ou sève de l'Hevœa, est un lait, c'est-à-dire un véhicule de l'eau contenant en suspension des glomérules, plutôt des globules qui, après préparation, l'eau étant éliminée, constitueront, par l'agglutination de leur masse, le caoutchouc commercial. Ce lait, ce sang de l'Hevœa, réside tout entier dans l'écorce, et *dans toute l'écorce* — on pourrait croire le contraire; — l'épiderme seul n'en contient pas; à plus forte raison le

cœur, et l'aubier lui-même; ceci dit seulement pour les profanes, dont certains, aussi peu botanistes que bons manufacturiers, ont voulu nous soutenir le contraire.

Ce lait, ce latex est naturellement *montant* ou *descendant*, comme toute sève, suivant l'époque de l'année; on profite de cette loi pour le recueillir par des incisions faites à l'arbre. Il est plus abondant à mesure qu'on se rapproche des parties profondes du derme; à ce niveau et contre l'aubier se trouve une tunique, sous forme de mince pellicule blanche, contenant, avec de gros vaisseaux laticifères, un très riche réseau de véritables capillaires gonflés de lait; une piqûre, même superficielle, pratiquée sur l'écorce, permet de récolter du lait, pourvu bien entendu qu'elle dépasse la couche épidermique; les anastomoses sont nombreuses et toute cette partie se vide par la saignée ainsi faite.

L'épiderme de l'*Hevœa* est d'un gris-brun, écailleux; le derme, rouge de sang, épais de deux millimètres à un centimètre, beaucoup plus sur les cicatrices provenant de piqûres antérieures; sur ces blessures, les cellules ont proliféré, surtout le stratum externe, et il a poussé de véritables et grosses verrues très caractéristiques.

Le bois de l'Hevœa est blanc, liant, assez mou; il est léger et se pourrit vite une fois l'arbre abattu, à l'opposé de la plupart des essences des forêts tropicales du nouveau monde. Une section faite en biais dans l'écorce, à l'aide d'un instrument tranchant, permet de voir immédiatement sourdre de toutes petites gouttelettes de lait, se détachant comme des perles sur le fond écarlate de l'écorce; ces jolies goutelettes blanches se réunissent bientôt, forment des larmes, puis de petits lacs que leur poids fait s'écouler vers le sol.

Vitalité. — L'Hevœa coupé repousse du pied par rejeton, et ce rejeton, devenu adulte, donne du lait en quantité utile au bout de cinq ans; à cette époque l'arbre est déjà gros comme la cuisse. Donc, au bout de cinq ans, tout arbre coupé est redevenu exploitable; il nous paraît qu'au bout de quinze ans il doit être en pleine production, d'après des renseignements d'Indiens qui en ayant vu naître et croître non loin de leur case, les avaient particulièrement remarqués. Il est impossible de préciser jusqu'à quel âge moyen ils peuvent vivre; leur vie doit être assez courte, comme celle de leurs frères en général, car au sein de cette nature féconde et dévorante, la naissance ne précède que de peu la vieillesse et la mort, et l'être végétal, d'une exubérante activité, inondé d'oxygène, de lumière et de chaude humidité, a vite fini d'user ses principes vitaux. Toutefois, et toujours d'après les récits des Indiens, il nous semble que l'Hevœa doit atteindre facilement la quarantaine.

Il n'est pas rare de voir un gros Hévé devenir le père de nombreux rejetons qui croissent sous ses ailes. Ses graines, en effet, tombant chaque année en abondance vers la fin de mai, germent avec facilité, et on voit quelques mois plus tard tout un petit bois de jeunes Hévés, qui, hélas! sont atrophiés pour la plupart par la végétation luxuriante qui les étouffe et les prive d'air et de lumière; ils meurent alors au berceau, dans leur berceau de verdure, mais ce fait indique assez que l'Hévé ne demande qu'à proliférer; cette indication peut être très utile pour une culture raisonnée.

Habitat. — L'Hévé ne croît guère que dans les endroits humides et inondés facilement plusieurs mois de l'année; et il est d'ailleurs d'une santé assez délicate, car si la région reste marécageuse pendant plus d'un an, il devient malade et finit par mourir; il lui est donc indispensable à la fois d'avoir un sol alternativement inondé et sec dans le cours de l'année.

Aspect. — Il s'élance d'un seul jet, droit et lisse, jusqu'à une hauteur de douze, quinze, même vingt mètres et au-dessus, sur un diamètre de cinquante à quatre-vingt-dix centimètres, même un mètre; sa taille ronde et bien prise, sans branches, est à la fois puissante et gracieuse. Tout en haut de cette tige bien plantée s'étendent les branches maîtresses comme de grands bras obliques dont les doigts, les petites branches, se dispersent en tous sens, en donnant à la cime cet aspect sphéroïdal connu sous le nom de frondaison en boule; cependant le port de la tête varie suivant les sujets, les plus jeunes n'ayant pas encore d'allure bien personnelle.

Cachet spécial. — Même sans être piqué, l Hevœa se révèle à sa seule inspection; il semble que la nature ait voulu le désigner entre toutes les créatures végétales à l'attention de ses sauvages maîtres; en effet, les feuilles terminales des branchioles alternes sont toujours

disposées par trois : une médiane, deux latérales, l'ensemble affectant la forme d'un trèfle ou d'un nœud de rosette. La feuille entière, oblongue, à nervures alternes, d'un beau vert farouche, a elle aussi un aspect assez spécial ; elle ne dépasse pas en grandeur les trois doigts de la main, surtout si l'arbre est haut, car la taille des feuilles est en raison inverse de celle de l'arbre. L'Hevœa est le seul arbre de ces forêts vierges que nous ayons vu offrir cette singularité de la terminaison en trèfle. C'est tellement caractéristique que les Indiens reconnaissent de loin un caoutchouc à travers le fouillis de feuilles des arbres voisins ; nous-même, à la fin, nous ne nous y trompions jamais et, les yeux en l'air, reconnaissions immédiatement un Hévé entre mille sujets étrangers, et nous allions droit dessus.

CUEILLETTE DU LAIT

Le mode de recueillir le lait universellement appliqué est de piquer l'arbre ; mais, ainsi que nous l'établirons plus loin, ce n'est pas toujours le meilleur.

En Colombie, au contraire, où on ne fume pas le lait, et *par conséquent* où l'on produit un caoutchouc inférieur, *un véritable caoutchouc africain*, on abat l'arbre et on en recueille le lait, qu'on abandonne au soleil où il se coagule de lui-même ; cet abatage est pratiqué en grand dans le Guaviare et dans le Cagno de San-Martin.

Prenons un de nos Indiens de l'Orénoque, du Cassiquiare ou du Rio Negro et suivons-le à partir du moment où, exilé de son village, il s'est installé sur les bords du fleuve, en un point qu'il sait riche en caoutchouc et n'avoir encore jamais été exploité ; il va y séjourner les six mois de sécheresse avec sa famille, et produire les quelques quintaux de gomme qui lui permettront de se nourrir, surtout d'acheter quelques vêtements d'importation européenne pour abriter sa nudité, jusqu'ici voilée d'un seul rayon de soleil ; puis, s'il le peut, un fusil à piston à un coup, le rêve de tout Indien ambitieux ; enfin, une machine à coudre à pédales, qui servira une fois l'an !

Il a construit sa case, bien déboisé tout autour pour protéger sa personne des moustiques le jour, et des tigres la nuit, et ses poules du *zorro* effronté et capon, ce famélique chacal américain.

Un beau matin il est enfin prêt et part pour le travail.

Reconnaissance des Hevœas — La pica. — Une *pica* ou sentier est pratiquée par lui au moyen du *machette*, espèce de sabre à large lame qui sert à couper les branches, les lianes, les plantes parasites, en un mot à déblayer pour donner assez de jour au passage d'un homme. Pour la commodité de leur locomotion, les Indiens, qui ne voyagent qu'en canot, n'ont aucun souci, dans un pays où il n'y a que la forêt, et toujours et encore la forêt, de gagner les profon-

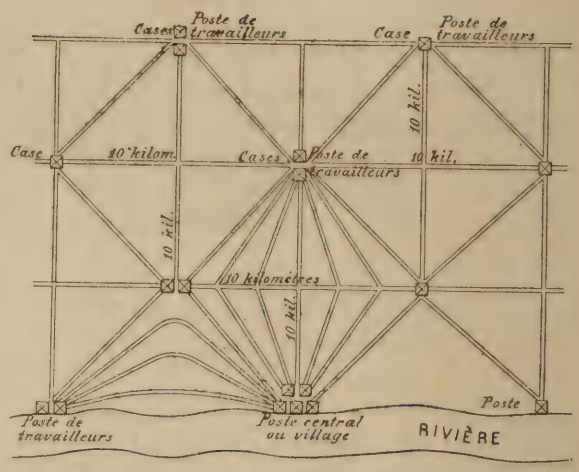


Fig. 2 — Méthode d'exploitation de M. L. Morisse. Chaque pica est figurée par une ligne ; on voit que ces lignes sont toujours doubles, une représente l'aller, l'autre le retour.

deurs de celle-ci pour leur exploitation et d'ouvrir leurs picas perpendiculairement au fleuve. Établis sur les bords de l'eau, ils percent leurs sentiers parallèlement à leur route marchante ; cela leur permet au besoin d'atteindre en bateau les deux extrémités de leur caoutchoutière.

Exploitation rationnelle en grand. — Cette pratique, hâtons-nous de le dire, devra être abandonnée dans une vraie exploitation régulière et rationnelle. Les picas doivent toutes partir du campement et rayonner en éventail vers l'intérieur de la forêt ; à l'extrémité de cette exploitation, une deuxième exploitation, mais cette fois l'éventail renversé, de manière à en accoler les bases ; au centre de ce nouvel éventail, un nouveau campement, et ainsi de suite ; les branches de tous ces éventails seront des

picas qui les feront communiquer les uns avec les autres. Ce sera la seule façon d'atteindre la forêt dans toute son étendue (fig. 2).

La Estrada. — Cette première pica rectiligne permet à notre primitif de reconnaître les arbres à lait; perpendiculairement à celle-ci, il en perce un grand nombre d'autres, toutes courtes, partout où il y a des caoutchoucs; une pica définitive, affectant par conséquent la forme d'une ligne très sinueuse, sera la pica d'exploitation, la seule dans laquelle passera le travailleur. Pour éviter de revenir toujours au même point, il établit plus tard une deuxième pica qui contourne la première, comme deux S S jumelles; alors il passe dans chacune deux fois; la première fois, à l'aller, toc, toc, il pique rapidement ses arbres, et la forêt résonne des coups de mandrin qu'il applique au dos de sa minuscule hachette; la seconde fois, au retour, la forêt s'est tue; notre Indien recueille son lait. Cette double pica lui évite une perte de temps; car si l'Indien consacre beaucoup de temps, et même toute une vie à la contemplation intime, en revanche il n'est guère prodigue de celui qu'il daigne, en de rares journées de son existence, consacrer au travail.

Repos des arbres. — Le même arbre ne peut guère être piqué qu'un jour sur deux; sous ce prétexte, l'Indien n'a qu'une exploitation; et, avec l'arbre, sur deux jours il se repose un, sans compter les cent et quelques fêtes de l'année et les semaines de douce ivresse qu'il s'offre quand il a pu *carotter* du rhum au naïf européen qui s'égare dans ces solitudes. Cependant s'il est actif, ou cupide, il a une autre double pica, qui sera en amont de sa case, si la première est en aval; un jour il pique l'une, l'autre le lendemain, et il ne se repose alors que les jours de fête. Parfois, n'ayant qu'une pica, il est pris d'un remords à moitié course, s'arrête, cueille son lait, le fume et rentre chez lui; il achèvera de piquer ses arbres le lendemain,... ou plus tard.

On conçoit qu'avec de pareils sybarites il soit impossible d'évaluer ce qu'un homme peut faire dans sa journée, et surtout de compter sur son travail. Aussi, quand au cours de cette étude nous établirons nos moyennes sur le rendement possible, prendrons-nous seulement pour base le travail que, moins indien malgré tout que les sauvages dont nous avions reçu la naturalisation provisoire, nous avons personnellement fait pendant plusieurs semaines, à titre d'expérience.

IV. — Préparation des arbres.

La toilette. — Les caoutchoucs reconnus e choisis, l'Indien les râcle légèrement avec son *cuchillo* (couteau) pour en faire tomber les desquamations d'épiderme, les mousses et saletés de toute sorte, de façon que le lait puisse couler sur une surface propre et le plus lisse possible; c'est la première condition pour avoir un caoutchouc joli et pur. Ces précautions de propreté sont surtout utiles aux places verruqueuses cicatricielles dont nous parlions, qui s'écorchent et se desquament avec facilité et viennent alors souiller le lait.

La ceinture. — L'Indien, après cela, se munit de *behucos*, grosses et souples lianes, de trois centimètres de diamètre environ, et d'un autre paquet de lianes plus petites, *behuquitos*, véritables ficelles minces, destinées à lier les *behucos*-cordes. A quelques centimètres du sol dans l'Orénoque, à deux pieds dans le Rio Negro et l'Amazone, il enserre l'arbre avec une liane-câble, en forme de V renversé, dont les deux extrémités libres seront plus basses de quelques doigts que le sommet de l'angle, situé sur la face postérieure de l'arbre; la liane-ceinture sera ainsi déclive, ce qui permettra le facile écoulement du lait; l'Indien, d'une main, la maintient vigoureusement appliquée à l'arbre, comme pour la faire entrer dans les chairs; avec sa main libre, il en attache rapidement et adroitement les extrémités au moyen de l'une des petites lianes-ficelles, tenue toute prête entre ses dents. Puis, tout autour de la ligature qu'il vient d'établir, il tranche à petits coups de la pointe de son *cuchillo* sur le dos duquel il frappe avec un bâton, la partie superficielle de l'écorce touchant à la face supérieure de la liane; en un mot, il trace un canal, et évite ainsi entre l'arbre et la liane qui l'étrangle, un angle aigu où le lait pourrait séjourner et stagner; mais il a bien su, dans sa résection, assez ménager l'écorce pour ne pas arrêter la circulation de la sève, ce sang précieux, dont la privation ferait mourir l'individu. En outre, cette petite opération permet le maintien entre le corps et la corde de la couche de glaise destinée à rendre le canal étanche.

Le lutage. — En effet, il prépare à l'avance et porte avec lui dans un récipient, généralement une vieille *lata de Kerosen* (boîte de pétrole de cinq gallons, en fer blanc), une pâte ramollie de terre glaise, avec laquelle il obstrue complétement les vides qui pourraient exister entre la corde et l'arbre, pas toujours géométriquement rond; ce lutage se sèche vite, et le lait coulera docilement sur un canal lisse et incliné.

Il garrotte ainsi une fois pour toutes, au début de la saison et pour toute cette saison, cent cinquante, deux cents et parfois jusqu'à huit cents et mille individus, selon l'objet d'art, montre en fer blanchi, ou même en or, dont il est envieux pour la fin de la récolte.

Fig 3. — Récolte du caoutchouc dans l'Orénoque et au Brésil.

Un piquet fiché en terre sert par derrière à empêcher la liane de tomber, s'écartant d'elle à angle aigu et la fixant à l'arbre au point le plus élevé où elle l'étreint (fig. 3).

Piquage des arbres. — L'arbre est prêt : tous les deux jours, à la première heure, l'Indien vient lui infliger au dessus de la ceinture huit à seize piqûres, par séries de trois à cinq superposées, obliques par rapport à son grand axe, et distantes d'environ un centimètre les unes des autres; dans chaque série, une larme tombe de chaque blessure, gagne celle de la blessure ou des blessures sous-jacentes, et finit par former un petit ruisseau qui va rejoindre ceux des autres séries de saignées, et le tout tombe dans la liane, par minces rigoles nacrées; au besoin, si quelqu'une se montre vagabonde ou récalcitrante, l'opérateur lui imprime du bout du doigt la direction voulue.

Un mode bien plus simple, auquel nous avons songé, et que l'on applique, croyons-nous, en quelques exploitations de l'Amazone, consisterait à placer au dessous de chaque rangée de piqûres, un petit godet de fer blanc fixé à l'arbre par un clou, par exemple. Cela dispenserait de l'emploi de la liane, moyen primitif quoiqu'ingénieux, long, et qui surtout fait perdre le lait découlé en premier lieu, lequel se coagule et ne sert que de fil conducteur aux gouttes suivantes (fig. 4). Mais l'Indien a des lianes, et il n'a pas de godets de fer blanc.

L'arbre est piqué, à hauteur d'homme, sur une étendue, en hauteur, de 50 centimètres à 1 mètre au maximum, et tout autour du tronc.

Le récipient. — Sous l'extrémité liée des deux

Fig. 4. — Godet de M. L. Morisse.

bouts de la liane repose, à terre, un petit godet, en forme de bateau de papier, très artistement fait d'un morceau de feuille de balisier et de deux épingles, épines de palmier; ce berceau doit recevoir le lait nouveau-né : même, une feuille est d'ordinaire fixée par la glaise à cette extrémité et sa queue sert de bec à l'écoulement du lait.

Ceci est pour l'Orénoque. — Au Brésil, nous avons vu généralement apporter quelques variantes dans ces dispositions : au lieu d'une seule liane liée à ses extrémités, on fixe simplement à l'arbre avec des clous très pointus et fort durs... et inoxydables! — toujours de la même fabrique, les palmiers épineux, deux baguettes de bois flexible qui se rejoignent à angle aigu au devant du godet et ne se touchent pas en arrière; le contact avec l'arbre est ainsi plus parfait, surtout si celui-ci a la taille

déformée et peu ronde. Dans ce pays, on place ces deux baguettes à deux ou trois pieds de hauteur, tandis qu'au Vénézuéla la liane n'est guère qu'à quelques doigts du sol. Au lieu de godet en feuilles, le récipient est alors un cylindre de bambou, fermé par un nœud naturel à son extrémité inférieure et ouvert par en haut; il est fixé par une gaule fichée en terre sous la lèvre des lianes; tout le lait tombé dans le bambou, puis recueilli par l'Indien, celui-ci coiffe la gaule de ce cylindre, renversé, et le retrouve le lendemain.

Les blessures saignent environ pendant trois heures au plus; après ce temps, il ne coule plus rien. L'indigène repasse alors et verse dans un grand récipient qu'il porte avec lui, toujours sa *lata de Kerosen*, le contenu de tous les petits récipients placés au pied des arbres.

Il ne lui reste plus qu'à fabriquer son caoutchouc, c'est-à-dire *fumer le lait.*

V. — Fumage du lait, ou le « Caoutchouc indien. »

Le feu. — A cet effet, il prépare de petits copeaux de bois résineux, le plus résineux possible, qu'il enflamme et dont la fumée chaude va pénétrer et coaguler le lait. Au Brésil, il fait un feu de bois quelconque, qu'il recouvre d'une noix spéciale, provenant d'une espèce de palmier, noix dégageant toujours une fumée épaisse et aromatique. Divers narrateurs ont rapporté que l'emploi de ces coques de noix était indispensable : c'est là une grosse erreur, provenant d'un manque d'observation. La vérité est qu'il faut :

1° Une fumée très chaude pour évaporer l'excès d'eau, partant, pour coaguler;

2° Une fumée épaisse contenant beaucoup de charbon et de phénols, *pour produire l'antiseptie, c'est-à-dire pour empêcher le caoutchouc de fermenter ultérieurement.*

L'outillage. — Ce feu, à peine allumé, est recouvert d'une sorte de calotte en terre cuite, ou cruche sans fond, qui remplit le rôle du *diable* ou allume-feu du fourneau de nos cuisinières: cette calotte est donc percée à son extrémité supérieure d'un trou, trou de la dimension des deux poings et généralement muni d'un goulot bas, en cheminée; de ce trou sort la fumée nécessaire. Une palette de bois d'un seul bloc, ovoïde, munie de deux longs manches, large de sept à dix centimètres et épaisse de cinq millimètres, tourne lentement au-dessus du goulot de la fournaise; l'extrémité de l'un des manches est dans une des mains de l'opérateur, qui le fait tourner, tandis que l'autre manche situé du côté opposé et sur le même plan horizontal, repose librement sur la fourche de deux bâtons de bois croisés, bâtons plantés en terre en forme de X.

Le moulage. — Un récipient, la *lata de Kerosen*, est posé, pleine du lait à fumer, à la portée de l'homme, assis à la façon des tailleurs; celui-ci avec sa main restée libre puise du lait au moyen d'une *tutuma*, petite calebasse, et le fait très lentement couler et se répandre sur la palette en nappe mince et bien uniforme, s'ar-

Fig. 5. — Indien fumant son lait.

rêtant ou faisant prestement virer la *paleta* sitôt que quelques gouttes menacent de tomber dans le foyer. La palette, enduite de lait comme d'un vernis, tourne toujours au-dessus de la fumée épaisse, le lait s'en imprègne; il y puise les antiseptiques, en même temps la chaleur nécessaire pour que son excès d'eau s'évapore, c'est-à-dire pour qu'il se coagule sur la palette en feuilletages successifs. Accroupi ainsi, entouré de fumée, l'Indien paraît se livrer à une cuisine délicate : en réalité, il tourne la broche et il arrose le rôti (fig. 5).

Il met une bonne demi-heure à coaguler un litre de lait; cette opération est donc plus longue à la fois que le piquage des arbres et toute la cueillette du lait, ainsi que nous le verrons plus loin.

Précautions à prendre. — Il a soin, s'il veut faire un beau travail, tout d'abord d'avoir un

feu bien à point et très régulier : de plus, s'il veut obtenir une planche de première qualité, ce qu'il essaie toujours au début, il évitera de laisser des yeux ou bulles d'air ; pour cela il doit, avec la *tutumita* dont il se sert pour puiser le lait dans le récipient et pour le répandre sur la palette, *écrémer* minutieusement son lait, en écarter les bulles d'air, la partie spumeuse qui se forme à sa surface après la moindre agitation. Son lait sera bien pur et bien propre, vierge de toute impureté, soigneusement débarrassé des petits débris de bois, des parcelles de feuilles sèches, des poussières quelconques qui ont pu tomber dans les petits bateaux collecteurs placés au pied de chaque arbre. Faute de ces précautions, le barbare acheteur, au lieu de lui prendre sa planche pour du caoutchouc fin (première qualité), ne l'acceptera plus que comme *entre-fin*, ou même comme *demi-fin* (troisième qualité).

Le résidu. — L'opération finie, il reste toujours au fond du récipient où l'on puisait un coagulum contenant des impuretés, mille débris, tous les corps étrangers d'un poids spécifique supérieur à celui du lait, qui ont aidé à la coagulation du fond. Ce caillot-là n'est guère fumable, et, en tout cas, pas sur la palette ; avec ce qui reste de caoutchouc adhérent aux arbres et aux lianes-ceintures à la fin de la saison, et que l'on détachera avec soin, il constituera le *cernambi* ou caoutchouc impur, de bien moindre valeur. Le malheureux Indien, auquel son acheteur fait subir des décomptes pour la moindre faute, ne se doute guère que tout ce caoutchouc est, en réalité, le même, *pourvu qu'il soit fumé*, et que la belle planche objet de son orgueil, ira rejoindre dans la chaudière du manufacturier l'humble et méprisable cernambi !

Continuation de la planche. — Voilà donc notre Indien qui a commencé son caoutchouc ; le surlendemain, les jours suivants, il ajoute à ce premier enduit de sa palette de nouvelles couches successives ; ces couches concentriques, chacune variable d'épaisseur selon la quantité de lait moulée en une seule fois, c'est-à-dire en une seule matinée, seront plus tard parfaitement reconnaissables, et même facilement séparables les unes des autres, comme les lamelles d'un gâteau feuilleté.

Ce que devient la planche. — Quand, au bout d'un certain nombre de jours, l'Indien juge sa planche suffisamment grosse, il l'incise à fond avec son couteau, suivant un des côtés jusqu'au bois de la palette, et celle-ci se détache alors toute seule.

A ce moment, la planche encore toute fraîche est d'un blanc jaunâtre, luisante, comme vernissée ; peu à peu elle se sèche, rapidement les premières semaines, plus lentement les mois suivants ; en même temps, les molécules du charbon se disséminant, le caoutchouc devient de plus en plus brun, puis, à la fin, complètement noir. Il faut au moins huit mois pour que le pain ainsi fait ait perdu toute son eau ; il pèse alors, suivant nos expériences, 35 o/o de moins qu'à son état primitif, après cuisson, c'est-à-dire sortant tout frais « du four ». Il doit sécher à l'ombre, au moins les premiers jours ; le soleil le ride, et la croûte, gaufrée, est d'un vilain aspect. L'Indien, s'il ne craint pas les voleurs (car la caoutchoutière a parfois ses écumeurs), le laisse simplement en pleine forêt, à côté du foyer de fumage, avec toutes les autres qu'il fabriquera ; le plus souvent, il le porte dans sa case, où le caoutchouc achève de sécher sans autre soin.

Formes autres que la planche. — L'Indien n'est pas seul à travailler ; toute sa famille le suit dans sa pica, sauf les tout petits ; femmes, garçonnets et fillettes aident au piquage, au fumage, et il n'est pas rare de voir une femme produire dans sa saison plus de gomme que son mari. Les enfants font des cordes, des fantaisies en caoutchouc, des semblants d'animaux, même des poupées ; mais, à la fin de la saison, tout est vendu pêle-mêle, les *objets d'art* assimilés à du vulgaire cernambi. Une aimable Indienne du Rio Negro nous avait fait cadeau d'une paire de bottines en caoutchouc ; elle s'était servie pour modèle de deux petits souliers d'enfant ! Une fois un Indien a voulu à tout prix vernir nos bottes d'un bel enduit de caoutchouc, et pour cela les a fumées comme une palette. Malheureusement le cuir européen est plus sensible à la chaleur que le bois de fer ; elles ont été complètement brûlées, le caoutchouc, n'étant pas vulcanisé, s'est détaché par couches, et nous avons dû finir notre campagne pieds nus ! Cela prouve qu'il faut toujours se méfier des sauvages, même quand ils ont d'excellentes intentions.

LUCIEN MORISSE.

(*A suivre*).

FAITS DIVERS

M. Witz vient d'appeler l'attention de la Société industrielle du nord de la France sur les derniers et très remarquables progrès réalisés par les moteurs à gaz; dans les essais qu'il a faits à Rouen, il y a deux ans, un moteur de 100 chevaux consommait 600 grammes d'anthracite par cheval-heure effectif. Or, aujourd'hui, ce résultat est obtenu en marche industrielle courante. Il ne s'agit plus, dit le *Cosmos*, d'alimenter les moteurs par du gaz de ville, mais on leur adjoint un gazogène dont la conduite est facile et la production régulière et constante; ce gazogène remplace la chaudière à vapeur.

C'est un gaz pauvre qu'on utilise, donnant environ 1500 calories par mètre cube à 0° et 760 millimètres de pression; le procédé est ancien, car il a déjà été indiqué par Thomas et Laurens, en France, et par Siemens en Allemagne Mais on fabrique les gaz pauvres aujourd'hui dans les appareils Dowson, Lencauchez, etc., dans des conditions parfaites, à un prix beaucoup plus bas.

Le rendement des gazogènes s'élève à 80 o/o, alors que la meilleure des chaudières ne rend que 70 o/o. D'autre part, dit M. Witz, les moteurs à gaz font réaliser dès maintenant un bénéfice de 28 o/o sur la machine à vapeur la mieux construite; il en résulte pour l'ensemble une économie considérable qui justifie les plus brillantes expériences.

Il serait assurément téméraire de dire qu'il y ait lieu déjà de remplacer les chaudières par des gazogènes; il reste en effet quelques difficultés de détail à surmonter, et la question n'est pas tout à fait mûre; mais elle est à l'ordre du jour.

Des moteurs Simplex et des moteurs Crossley actionnent en France, en Angleterre et en Allemagne plusieurs établissements considérables. Des relevés industriels démontrent qu'avec moins de 600 grammes d'anthracite on peut obtenir le cheval-heure au frein; M. Crossley a obtenu le même résultat avec 783 grammes de coke. La régularité est assez grande pour permettre de mouvoir des dynamos.

En concluant, M. Witz constate que le moteur à gaz et le gazogène gagnent du terrain et qu'il est excessivement intéressant de suivre leur marche progressive, parce qu'elle pourra les mener fort loin.

D'après les expériences d'un médecin anglais, M. Turner, il paraîtrait que la résistance spécifique de l'urine varie en raison inverse de son poids spécifique. Comme ce sont surtout les sels qui agissent sur la conductibilité, on a fondé sur cette observation une méthode d'analyse des urines.

Les sismographes électriques établis dans le sud de l'Italie ont permis de constater l'étendue de tremblements de terre survenus le 25 janvier et qui, à Pozenza, ont été observés à partir de midi 22 minutes. On a constaté deux secousses dans la direction du nord-est au sud-ouest. Ces deux secousses ont été séparées par un intervalle de temps assez prolongé La première a duré une minute et la seconde deux. Elles ont été assez fortes, mais n'ont cependant occasionné aucun sinistre.

Des phénomènes analogues ont été ressentis à Naples et à Salerne, à Canossa, dans la province de Bari, de l'autre côté des Apennins, et dans une foule de localités voisines du parallèle de Pozenza. Canossa a été bouleversé par un tremblement de terre le 14 août 1851, et Pozenza le 16 décembre 1857.

Les gares de chemins de fer de Dresde vont être dotées de la plus grande installation électrique à courants polyphasés exécutée jusqu'ici, et qui est destinée à fournir la force motrice et l'éclairage aux diverses gares de cette ville.

Le projet accepté est celui de la maison Siemens et Halske, comportant l'emploi de courants polyphasés. L'installation pourra, une fois terminée, développer une puissance totale de 1 300 chevaux. Il y aura 5 chaudières, 4 machines à vapeur et autant de machines à courants triphasés de 330 chevaux chacune à 100 tours par minute. La tension aux machines est de 120 volts que des transformateurs primaires élèvent à 3000 volts pour la distribution. Des transformateurs secondaires abaissent la tension aux appareils d'utilisation. Le réseau dont les circuits s'étendent jusqu'à 7 kilomètres alimentera 600 lampes à arc et plus de 3000 lampes à incandescence.

Les travaux d'installation ont été confiés à la maison Siemens et à la Société Hélios, la première étant chargée de l'aménagement général d'après les dispositions de son projet, et de l'établissement complet de la station centrale, la fourniture des électromoteurs et de leurs transformateurs, la Société Hélios devant établir le réseau de conducteurs, les appareils d'éclairage et leurs transformateurs.

On a projeté une station centrale d'électricité pour la ville de Sofia, en utilisant les forces hydrauliques disponibles. La maison Ganz a établi un projet pour une installation d'une capacité de 920 kilowatts, avec une réserve de 460 kilowatts, de sorte que la station sera capable de développer un total de 1 380 kilowatts. Cette puissance sera produite par 3 alternateurs de 700 chevaux chacun, actionnés par une turbine. Les alternateurs tournent à 550 tours par minute et fournissent 140 ampères sous 3 300 volts.

La station centrale sera établie à 7 kilomètres de la

ville et reliée à celle-ci par 8 fils de 8 m. de diamètre. Des transformateurs serviront à abaisser la tension dans le réseau de distribution.

Le succès du tramway électrique de Budapest fait envisager la création, à Vienne, d'une installation basée sur le même système.

Le jugement de la cour d'appel des Etats-Unis qui a mis fin au long procès engagé entre la Compagnie Edison et la United States Electric Lighting Company aura des conséquences importantes. La validation du brevet de la lampe à incandescence ayant été traîné en longueur, l'opinion publique avait fini par considérer la lampe Edison comme tombée dans le domaine public. On le croyait d'autant plus qu'au Canada les autorités déclaraient le brevet expiré parce qu'en Suède les inventeurs ne s'étaient pas conformés à toutes les dispositions de la loi sur les brevets d'invention.

En attendant qu'une décision intervînt, de nombreuses fabriques avaient été créées un peu partout par des industriels décidés à profiter des lenteurs de la procédure. Ils y furent encouragés par l'inaction de la Compagnie Edison qui n'avait jusqu'alors introduit aucune plainte en contrefaçon. Lorsque la cour d'appel confirma, en décembre dernier, les droits de la Compagnie Edison, devenue la General Electric Company, par sa fusion avec les intérêts Thomson-Houston, les fabricants durent se préoccuper d'introduire des modifications inédites dans la fabrication.

Comme le savent nos lecteurs, la clause 2 du brevet 223898, daté du 27 janvier 1880, revendique : la combinaison avec des filaments de charbon d'un récipient entièrement en verre et de conducteurs traversant le verre, et de plus, la raréfaction de l'air à l'intérieur du récipient. C'est cette clause qu'il s'agissait de tourner, et la bataille s'engagea entre la General Electric Company, d'une part, et, d'autre part la Compagnie Westinghouse avec ses alliés.

Immédiatement après le jugement, M. Westinghouse publia une circulaire annonçant que sa Compagnie réussirait dans peu de temps à placer sur le marché une lampe qui ne rentrerait pas dans la catégorie décrite par la clause 2 du brevet Edison. Il dit entre autres :

« La nouvelle lampe diffère radicalement de celles en usage. Elle n'exige pas de platine et est construite en deux pièces séparables, de telle sorte que le filament à incandescence peut être renouvelé, et que le globe et les autres parties de la lampe peuvent resservir indéfiniment. De plus, par suite d'une importante découverte, le filament est rendu stable et son rendement est augmenté, sa durée prolongée, et sa puissance lumineuse normale est constante. »

Jusqu'à présent cette lampe nouvelle n'est pas encore sortie des fabriques Westinghouse.

Entre temps, la General Electric Company poursuit devant les tribunaux les contrefacteurs. Par un avis publié dans les journaux elle menace de faire payer des dommages-intérêts à tous ceux qui ont enfreint jusqu'ici les dispositions du brevet et défend de continuer la fabrication de la lampe Edison.

A Chicago, la Compagnie Edison locale possède deux stations centrales dont l'une alimente de 45000 à 50000 lampes à incandescence au centre d'affaires de la ville. Deux autres stations dépendent de la Compagnie Thomson-Houston et se trouvent par conséquent du bon côté; mais il y a aussi la Chicago Arc Light and Power Company, qui alimente beaucoup de lampes à incandescence et qui pourrait avoir des démêlés avec les propriétaires du brevet. On nous dit, toutefois, que cette compagnie est en pourparlers avec la Compagnie Edison pour la fusion de leurs intérêts respectifs.

Dans cette bataille de brevets, les premières escarmourches ne sont pas très importantes, mais il pourra y avoir des engagements plus sérieux, lorsque la Compagnie Westinghouse produira la nouvelle lampe promise.

La Société lyonnaise des forces motrices du Rhône dont nous avions annoncé la formation vient d'être définitivement constituée. Elle a pour objet :

1° La création de forces motrices par une ou plusieurs chutes obtenues au moyen de canaux de dérivation du Rhône, en amont de Lyon;

2° L'exécution à Lyon et dans les communes voisines de tous travaux de canalisation et autres, destinés à la distribution et à l'utilisation de ces forces motrices sous toutes formes, notamment par l'électricité, l'air comprimé, l'eau à haute pression;

3° L'exploitation desdites forces motrices et de toute entreprise s'y rattachant, soit par la Société elle-même, soit par cession, location, participation ou autres manières sans exception ni réserves.

Les fondateurs font apport à la Société :

1° De la concession des travaux à exécuter, pour la construction entre Jons et Lyon d'un canal navigable à dériver du Rhône, et s'étendant sur le territoire des communes de Jons, Jonage, Meyzieu, Décines, Vaulx-en-Velin et Villeurbanne; et pour la distribution, au moyen de l'électricité, dans les communes de Lyon et de Villeurbanne, de la force motrice qui sera créée par la dérivation précitée, travaux qui doivent être déclarés d'utilité publique;

2° Du droit d'exploiter cette concession et de faire toutes canalisations;

3° Des plans, devis, études, en général de tous travaux qui ont été faits pour l'instruction de la demande de concession.

Le capital social est fixé à 12 millions de francs, divisé en 24 000 actions de 500 francs chacune, émises en espèces.

Le sous-comité nommé par l'American Institute of Electrical Engineers vient d'élaborer un programme à soumettre au Congrès international des électriciens qui se tiendra cette année à Chicago. Ce sous-comité était formé du professeur W.-A. Anthony et de MM. Carl Hering et A.-E. Kennelly.

Parmi les propositions nous relevons les suivantes :

La valeur de l'unité pratique de force magnétomotrice sera le dixième de l'unité absolue. L'unité pratique de 10^{-8} unités absolues. L'unité pratique de résistance magnétique sera de 10^{-9} unités absolues.

L'unité de conductibilité électrique sera de 10^{-9} unités absolues, c'est-à-dire la réciproque de l'ohm. L'unité pratique d'éclairement sera la bougie décimale à 1 mètre de distance.

Noms proposés pour les unités pratiques :

Force magnétomotrice : gilbert.
Flux magnétique : weber.
Intensité magnétique : gauss.
Résistance magnétique : oersted.
Inductance : henry.
Conductibilité électrique : mho.
Eclairement : bougie-mètre.

Sous le titre de : *Union des électriciens d'Allemagne*, les nombreuses sociétés répandues dans les diverses parties de l'Allemagne viennent de fonder à Berlin une nouvelle association. En dehors de son programme scientifique, cette association se propose de veiller aux intérêts de l'industrie électrique et d'intervenir dans la législation relative à cette industrie. Elle tiendra sa première assemblée en août ou septembre prochain.

English Mechanics décrit une machine pour l'utilisation des rayons solaires à la production de la force motrice. Cette machine est formée d'un cylindre rempli de liquide et contenant une roue à aubes. Dans le voisinage d'une source de chaleur, cette roue tourne par suite de la circulation du liquide inégalement chauffé.

L'inventeur pense avoir réalisé ainsi le premier moteur utilisant la chaleur solaire; inutile de dire qu'il se trompe et qu'on a fait bien mieux avant lui. Nous enregistrons à titre de curiosité.

M. Janet, professeur à la Faculté des sciences de Grenoble, a repris son cours d'électricité industrielle. Cette institution a été créée par la chambre de commerce, le conseil municipal de Grenoble et le conseil général de l'Isère qui en font tous les frais, avec entière approbation de l'État, lequel plus tard subventionnera aussi ce cours, dont le succès va toujours grandissant.

La reproduction autographiée de ce cours est publié par M. Chaumat, préparateur à la Faculté, avec l'autorisation et sous le contrôle de M Janet.

Cette publication est confiée à la librairie Alexandre Gratier, à Grenoble.

Le fil de cuivre isolé à la soie ou au coton coûte évidemment beaucoup plus cher que le fil nu. Pour réduire le plus possible le prix de revient des électro-aimants, M. Varley propose de les enrouler avec deux fils placés côte à côte, l'un isolé, l'autre nu. On conserve alors tout juste l'isolement nécessaire pour écarter les différentes spires les unes des autres.

Pour exploiter cette idée très simple, il s'est formé à New-York une compagnie, la Varley-Duplex-Magnet C°

Le dispositif de M. Havaux pour couper le verre électriquement consiste en une lame annulaire de maillechor serrée entre deux plaques en matière isolante et réfractaire, et pouvant être fixée à différentes hauteurs, tout en restant en communication avec les deux pôles d'une source d'électricité quelconque dont le passage porte à une température suffisante les arêtes de la lame faisant saillie à l'intérieur des plaques réfractaires au centre desquelles on place et on fait tourner l'objet à couper.

Éclairage électrique.

On vient de terminer l'installation d'une usine électrique à Quintin. Une turbine Singrun actionne une minoterie et la dynamo qui à 1100 tours donne 120 ampères à 125 volts. Une batterie de 60 accumulateurs assure l'éclairage aux heures peu chargées. Les conducteurs son aériens.

La lampe de 16 bougies est tarifée 40 francs par an l'installation est prévue pour 400 lampes.

Les autorités municipales de Budapest, la Compagnie du gaz et MM. Ganz et C° viennent de conclure un arrangement pour l'éclairage électrique de cette ville. MM. Ganz et C° formeront une compagnie au capital de 7500000 francs pour la mise en œuvre de l'installation projetée.

Les crayons de charbon qui servent à alimenter les lampes à arc sont pour la plupart munis d'une âme centrale appelée mèche, laquelle a pour but de rendre la lumière plus fixe et de diminuer la résistance de l'arc par les poussières relativement conductrices qu'elle introduit dans cet arc.

Jusqu'ici cette mèche a été introduite dans les crayons de deux manières. Tout d'abord les crayons sont fabriqués de façon à présenter dans leur partie centrale et suivant leur axe un vide ou trou cylindrique dans toute leur longueur.

Les crayons ainsi préparés sont pourvus, soit avant,

soit après leur cuisson définitive, de leur âme ou mèche par deux procédés :

1° Un petit charbon de composition spéciale et très variable et d'un diamètre un peu plus petit que celui du trou ménagé dans le crayon, est introduit et fixe dans ledit crayon ;

2° Une pâte également de composition spéciale et très variable est injectée sous pression dans le trou ménagé dans le crayon.

Ces procédés ont l'inconvénient de nécessiter deux opérations successives dans la fabrication des crayons, ce qui augmente le temps et la main-d'œuvre et par suite le prix de revient.

M. Maquaire vient d'imaginer un procédé de méchage consistant à opérer l'introduction de la mèche pendant la fabrication du crayon.

Celui-ci, obtenu à la façon ordinaire en faisant passer la pâte à travers une série de tubes à axe plein, a cet axe creusé et recevant la pâte du mèchage également sous pression. Le tube formant filière est légèrement conique à hauteur où le petit tube amenant la mèche débouche. De cette façon celle-ci est étreinte et se fixe immédiatement à l'intérieur du crayon.

Ce procédé permet d'employer des pâtes à méchage de constance et de solidité variables.

Lorsqu'on fait usage de pâte ayant une résistance suffisante pour être étirée d'avance en fil souple, ce fil, enroulé sur une bobine, est introduit dans le charbon comme précédemment par un tube central, le charbon enveloppant cette mèche l'entraîne en l'étreignant.

On nous écrit de Haïti :

L'éclairage électrique a été introduit en Haïti en janvier 1892, et l'installation devant démontrer les avantages de ce système d'éclairage est faite au palais de la présidence.

Deux régulateurs de 80 carcels sont installés au balcon d'entrée et éclairent l'allée et les deux grands parterres. 38 lampes à incandescence de 16 bougies sont disséminées dans les beaux salons de la présidence. La petite usine comporte une dynamo actionnée par un moteur à vapeur vertical de 6 chevaux.

Le succès de cette petite installation a décidé le gouvernement à adopter la lumière électrique pour l'éclairage des rues de la capitale d'Haïti. Le projet présenté pour l'éclairage de Port-au-Prince prévoit 100 lampes à arc de 2000 bougies chacune montées sur riches candélabres en fonte d'art de 8 à 10 mètres de hauteur pour l'éclairage municipal et 6 000 lampes à incandescence de 16 bougies pour l'éclairage des maisons bourgeoises.

L'usine sera située hors la ville, et l'on emploiera des courants alternatifs avec transformateurs. Les lampes à arc seront reliées en série et alimentées directement par le courant à haute tension. Les réseaux tant primaire que secondaire seront souterrains.

Télégraphie et Téléphonie.

Relativement à l'état actuel de la téléphonie dans les divers pays, le *Journal télégraphique* publie un tableau dont nous extrayons les chiffres ci-dessous. On trouve, d'après les résultats connus, un abonné sur environ 600 habitants, et un réseau pour 100 000 habitants.

La moyenne générale par abonné et par jour du nombre de conversations est de 7 environ.

	Nombre de localités pourvues de réseaux	Longueur des fils en kilomètres	Nombre de conversations urbaines et interurbaines	Moyenne par abonné et par jour
Allemagne...	337	137 000	208 938 691	9,7
Autriche.....	64	40 379	17 424 951	5,5
Hongrie.....	14	6 642	8 044 253	10,7
Belgique.....	16	13 792	1 925 710	1,1
Luxembourg.	45	1 881	1 247 067	4,2
Pays-Bas.....	15	1 212	7 031 656	6,1
Russie.....	20	27 200	10 992 843	5,1
Suède.....	319	42 763	35 492 931	4,1
Suisse.....	149	24 363	6 639 303	1,7
Tunisie.....	1	140	91 510	2,8
Indes britann.	131	5 005	1 258 349	3,5
Japon.....	2	2 309	1 667 203	6,6
American Bell Telephone C°	788	428 994	500 000 000	7,6
Totaux....	1 901	731 680	800 754 467	7

En ce qui concerne la France, où la téléphonie, entre les mains de l'Etat depuis le 1er septembre 1889, fait naturellement des progrès considérables, nous avons trouvé quelques indications précieuses dans un rapport publié au mois de juin 1892 sur les opérations relatives aux téléphones jusqu'au 31 décembre 1891. A cette date, 112 réseaux avaient été mis au service du public, 46 autres étaient en construction, et le nombre des abonnés était de 18 191. Le produit total des abonnements s'était élevé pendant l'année à 5 574 892 francs, dont la plus grande partie provenait de la ville de Paris, comptant à elle seule près de 10 000 abonnés.

Pendant l'année 1892, 108 autres localités ont demandé à faire établir par l'Administration des réseaux téléphoniques, de sorte que le nombre de réseaux autorisés est actuellement de 266. Si l'on se reporte à l'époque très rapprochée où le gouvernement a repris à la Société générale des téléphones les 11 réseaux qu'elle exploitait et où l'Etat lui-même n'avait encore pu établir que 29 réseaux, on voit que dans l'espace de trois ans il a été concédé 226 réseaux nouveaux, soit environ 75 par an.

C'est une progression qui permet d'espérer que la France aura bientôt un système de communications téléphoniques aussi complet que ses voisins les mieux outillés à ce point de vue.

Imprimeur-Gérant : V. Nory.

Imprimerie de La Lumière Électrique. — Paris
31, boulevard des Italiens.

La Lumière Électrique

Journal universel d'Électricité

31, Boulevard des Italiens, Paris

DIRECTEUR : Dr CORNÉLIUS HERZ

XVe ANNÉE (TOME XLVII) SAMEDI 18 FÉVRIER 1893 N° 7

SOMMAIRE. — La soudure électrique; Gustave Richard. — Sur la mise à la terre des circuits conducteurs; Frank Géraldy. — La station centrale de Dessau; G. Pellissier. — La reproduction du diamant et les fours électriques; A. Rigaut. — Les turbines électriques; H. de Graffigny. — Chronique et revue de la presse industrielle : Téléphone Groper. — Turbo-moteur Laval. — Fabrication électrolytique des tubes, procédé Picard et Tanière. — Tableau téléphonique multiple Scribner (Western Electric Co). — Boîte de canalisation Hart. — La production et la distribution de l'énergie par stations centrales, par M. Cawthorne Unwin. — Servo-frein électrique Picou. — Poste téléphonique anglais. — Revue des travaux récents en électricité : Recherches expérimentales sur les transformateurs à courants alternatifs, par M. J.-A. Fleming. — Appareils de démonstration des expériences de Hertz, par L. Zehnder. — Détermination des coefficients de self-induction au moyen des oscillations électriques, par M. P. Janet. — Nécrologie : Henry-Joseph Archereau. — Variétés : Le caoutchouc du Haut-Orénoque. — Correspondance : Lettre de M. C.-L.-R.-E. Menges. — Faits divers.

LA SOUDURE ÉLECTRIQUE (1)

La soudure électrique reste toujours stationnaire ou plus exactement à peu près nulle en France, mais elle continue à progresser en Amérique. Voici, en effet, comment s'exprimait à ce sujet *M. F.-P. Royce* dans un rapport présenté en octobre 1892, dans une réunion de la « Chicago Builder's National Association » (2).

« Actuellement, on soude à l'électricité des fils de fer, de cuivre ou de laiton de différents diamètres et en grandes longueurs : on soude, façonne et forge des barres de fer et d'acier, on traite très rapidement des essieux, des bandages et les ferrures des wagons; on soude en longueurs de plusieurs centaines de pieds, on enroule en spirale ou en serpentins quelconques des tubes de fer ou d'acier; on soude ou l'on brase, suivant les cas, des pièces de vélocipèdes; on soude, pour les roues des machines agricoles, le noyau aux rais et les rais à la jante; on soude aux aciers ordinaires les aciers fins et durs de Mushet et de Jessop, de façon à en former des pointes d'outils très utiles dans tous les ateliers; on soude encore ainsi les connexions des plaques d'accumulateurs. On chauffe à l'électricité des pièces de forge de 60 centimètres carrés de section, que l'on soude sous des pressions hydrauliques énormes; on soude facilement, dans nos chantiers maritimes, des étançons de coque et des pièces de transmission, et le champ des applications de la forge et de la soudure électrique s'étend chaque jour à une plus grande variété de travaux et avec un plein succès.

« L'aluminium peut se souder à l'électricité aussi facilement que le fer et l'acier.

« On invente à chaque instant, avec des adaptations aux travaux les plus divers, des machines à souder de tous les types, pesant depuis une vingtaine de kilogrammes jusqu'à plusieurs tonnes.

« Aux ateliers de la Johnson Company, à Johnstown, on soude couramment des pièces de 60 centimètres carrés de section sous une pression de 150 tonnes, pour réduire au minimum les bourrelets de soudure. On y voit fonctionner, pour la soudure seule des rails, cinq machines de 30 tonnes chacune, et presque tous les constructeurs de wagons aux Etats-Unis emploient très en grand et couramment la soudure électrique.

« En ce qui concerne le prix de revient de la soudure électrique, deux facteurs principaux interviennent dans sa détermination : la main d'œuvre et la puissance de la dynamo.

(1) *La Lumière Electrique* du 15 octobre 1892, p. 354.
(2) *Electrical World*, 12 novembre 1892.

« En ce qui concerne le prix de revient de la main d'œuvre, n'importe quel mécanicien arrive très vite à pouvoir surveiller sans peine la dynamo, qui n'exige que peu d'attention en dehors des soins de graissage et de propreté élémentaires.

« Pour la soudure des pièces de formes régulières et pas trop lourdes, un seul homme suffit,

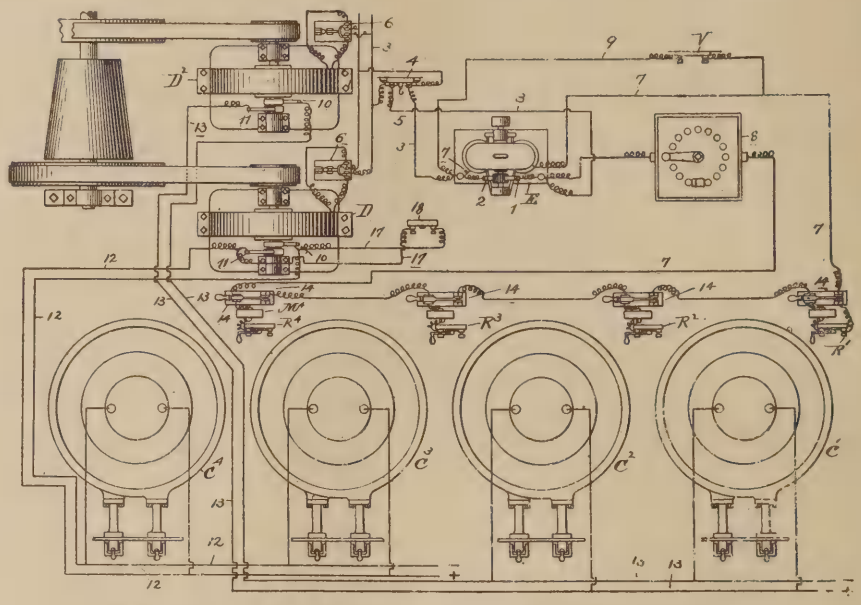


Fig. 1. — Angell et Burton (1892). Schéma d'un atelier de soudeuses.

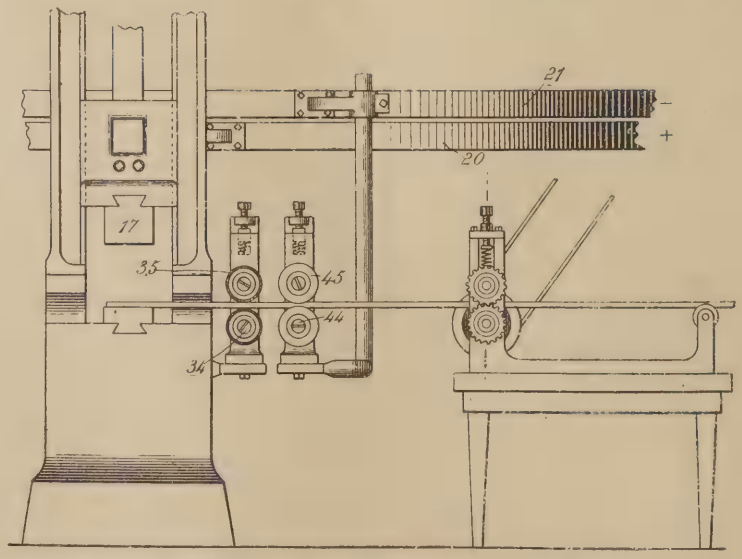


Fig. 2. — Angell et Burton (1892). Forge continue à l'étampe.

avec un gamin pour l'aider s'il faut aller vite. Pour les barres, les essieux de voitures, il faut deux hommes : un forgeron à la soudure et un aide pour l'ébarbage, le martelage, etc ; on soude ainsi par heure 150 barres de 25 millimètres et 100 barres de 40 millimètres. Un homme et un aide peuvent souder par jour 700 à 800 bandages minces pour voitures, s'ils sont en fer, et de 400 à 500 en acier. La soudure des gros bandages de wagons exige, aux ateliers de Studebaker, cinq

hommes travaillant sur deux machines à souder disposées côte à côte auprès d'un marteau.

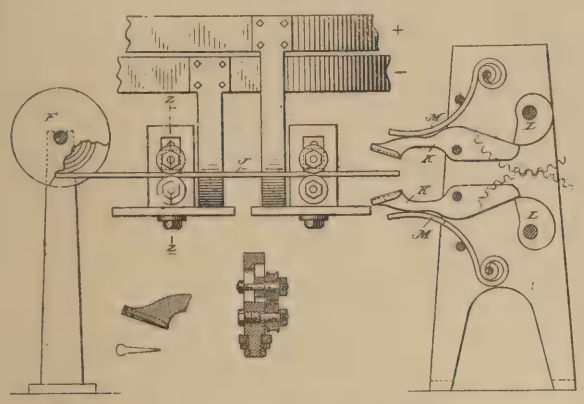


Fig. 3. — Angell et Burton (1892). Forge continue avec étampe à mâchoires.

« On a essayé inutilement, pour l'ébarbage ou l'enlèvement du bourrelet de soudure, la meule, tôt après son exécution ; en outre, l'action même du martelage contribue à renforcer la soudure.

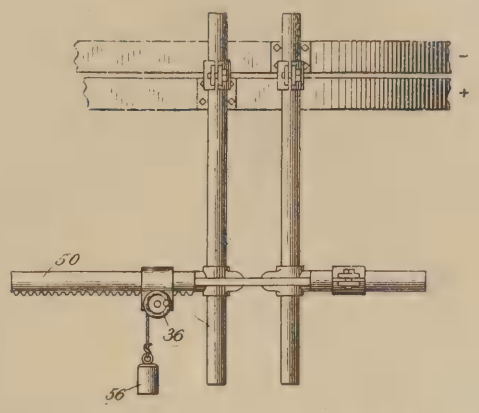


Fig. 6. — Angell et Burton (1892). Forge à barres.

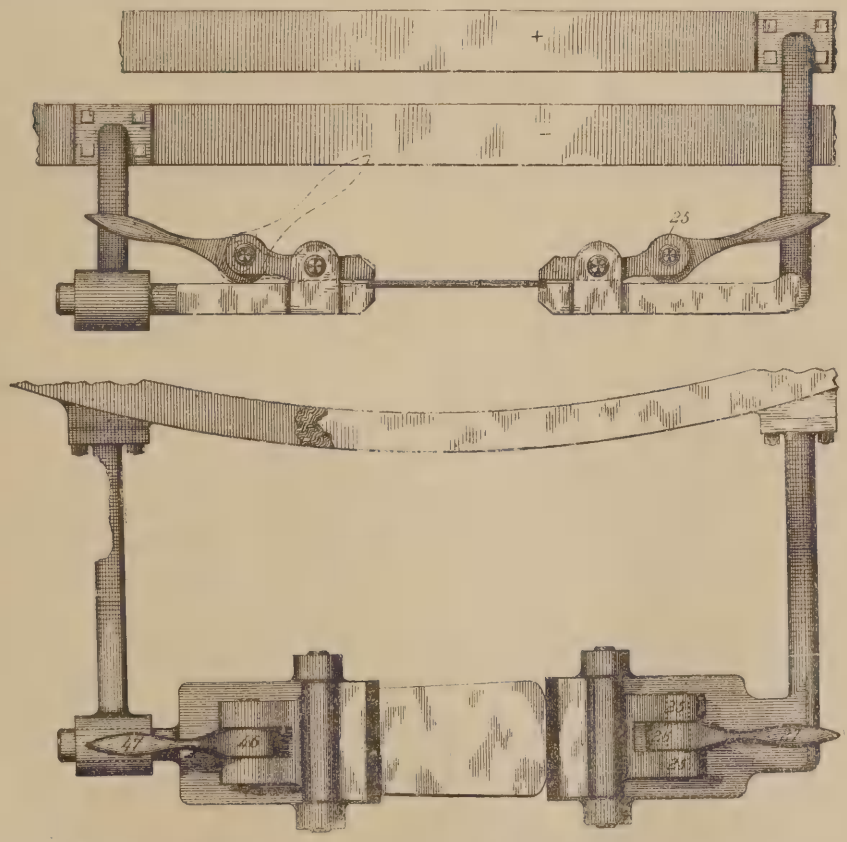


Fig. 4 et 5. — Angell et Burton (1892). Forge à pelles. Elévation et plan.

« On a renoncé au décapage préalable des soudures ; on préfère augmenter l'intensité du

puis le laminage, pour en revenir au martelage, seul véritablement pratique, grâce à la grande quantité de chaleur que la soudure conserve, et qui permet de la forger sans réchauffage aussi-

courant sans enlever d'abord l'oxyde ordinaire du laminage : on ne traite plus par les acides que les faces trop sales ou recouvertes d'une couche épaisse d'oxyde rouge.

« Quant à la puissance en chevaux nécessaire pour la soudure des barres, essieux et bandages, on peut, d'après une pratique déjà fort étendue, l'estimer comme il suit :

Dimensions des barres		Puissance dépensée pour une soudure		
25 mm.	de diamètre	25 chevaux	pendant	45 sec.
25	de côté	30	—	48
30	de diamètre	35	—	60
30	de côté	40	—	70
50	de diamètre	75	—	95
50	de côté	90	—	100
Dimensions des bandages				
25 mm.	× 5 mm.	11 chevaux	pendant	15 sec.
30	× 10	23	—	25
38	× 10	20	—	30
38	× 13	23	—	40
50	× 13	29	—	55
50	× 20	42	—	62

Les durées très courtes indiquées au tableau

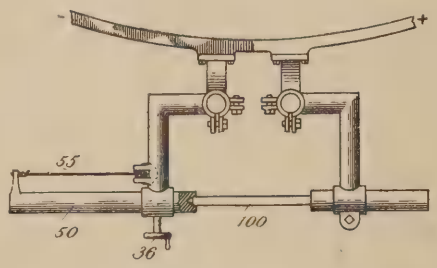


Fig. 7. — Angell et Burton (1892). Forge à barres.

ci-dessus sont celles du passage du courant seulement. Malheureusement, M. Royce ne donne aucun détail sur les dépenses d'établissement des appareils à souder et de leurs machines motrices, dont la puissance et le prix d'achat ne sont, on le voit, aucunement négligeables.

Parmi les inventeurs attachés au problème de la soudure et de la forge électrique, nous continuons à montrer au premier rang *MM. Burton et Angell*, ingénieurs de l'*Electric Forging C° of Maine*, qui se distinguent, comme le savent nos lecteurs, tant par l'originalité que par la remarquable persévérance, l'abondance et la variété de leurs recherches (1).

(1) *La Lumière Electrique*, 7 mars, 24 octobre 1891, p. 457, 153; 21 mai, 15 octobre 1892, p. 354, 116.

La figure 1 représente la disposition générale, récemment proposée par ces inventeurs pour

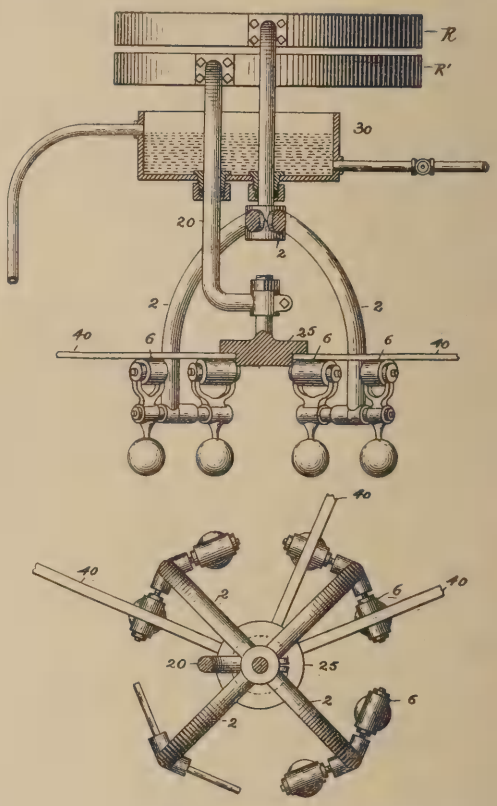


Fig. 8 et 9. — Angell et Burton (1892). Forge multiple à barres.

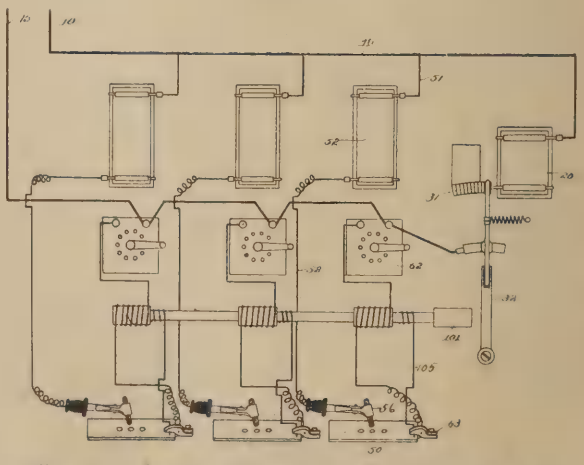


Fig. 10. — Angell et Burton (1892). Soudure à l'arc.

transmettre d'un poste central les courants de soudure à plusieurs transformateurs C_1, C_2, C_3, C_4... du type général décrit à la page 117 de notre numéro du 15 octobre 1892.

Le poste central comprend deux dynamos alternatives D D_2, excitées en parallèle par une même excitatrice E, dont le circuit excitateur arrive à ces dynamos par le fil 3 et les coupe-circuits 5, 4 et 6. Du balai 1 de l'excitatrice part une dérivation au rhéostat 8 et aux résistances locales R_1, R_2, R_3, R_4, pour revenir au balai 2. Une seconde dérivation 7, branchée sur le circuit 9, s'enroule sur les inducteurs de l'excitatrice, et est pourvue d'un voltmètre V.

Des balais 10 et 11 de la dynamo D, part le circuit 12, qui va aux primaires des transformateurs C^3 et C^4, tandis que ceux des transformateurs C^2 et C^3 sont excités par le circuit 13 de la deuxième dynamo D_2.

Chacun des transformateurs est pourvu d'une clef 14 et d'un compteur M^1. M^2.

Quand on ferme cette clef le courant excitateur dérivé en 7 passe librement, sans traverser ni le compteur correspondant M'. M^2 .. ni la résistance R_1. R_2... ; mais, quand on l'ouvre, on introduit dans le circuit 7 la résistance R' R_2... correspondante, ce qui augmente la dérivation du courant excitateur en 3, et, par conséquent, celui de la dynamo D ou D_2, en 12 ou en 13, suffisamment pour assurer le travail de la forge correspondante. Un voltmètre 18, en dérivation 17 sur D, indique la marche de son circuit.

L'appareil représenté par la figure 2 a pour objet le forgeage continu, à l'étampe 17, de

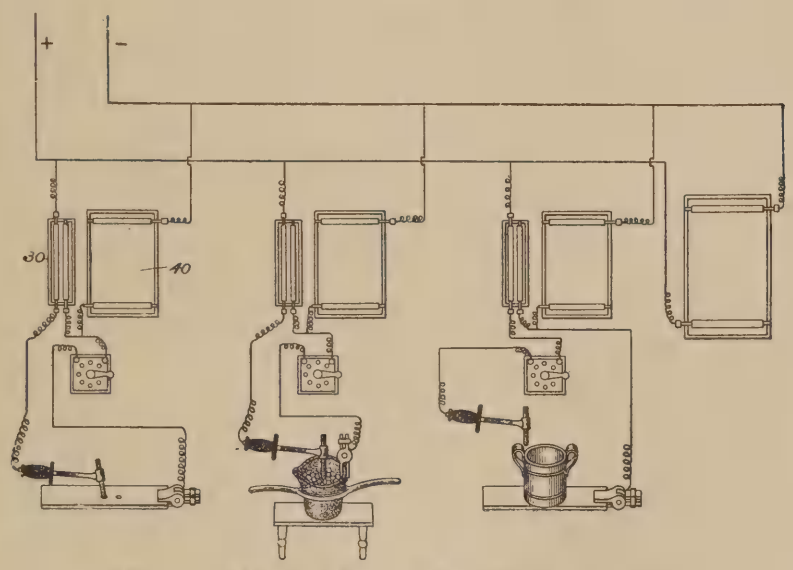


Fig. 11. — Angell et Burton (1892). Chauffage à l'arc.

pièces frappées sur une barre 100, continuellement avancée par un laminoir entre les galets 44 et 45, en cuivre, et reliés au pôle positif du transformateur 20 21, et les galets en carbone 34 et 35, reliés au pôle négatif. On obtient ainsi, pourvu que la forme de l'étampe s'y prête, un forgeage rapide, avec la moindre perte possible de chaleur et de main d'œuvre.

Avec le dispositif analogue de la figure 3, la barre J est amenée dans la position indiquée à son extrémité, coupée et forgée, par exemple, en forme de clou par les mâchoires de l'étampe K; puis on avance, pendant que les cames L maintiennent les mâchoires écartées, la barre d'une nouvelle longueur, et ainsi de suite indéfiniment, jusqu'à l'épuisement du dévidoir F. L'action des mâchoires K, repoussées par leurs ressorts M, dès le lâcher des cames L, est très rapide et précise, symétrique des deux côtés de la barre, de manière à ne pas fatiguer les galets.

Les pinces larges et puissantes de l'appareil (fig. 4 et 5) à serrage rapide par excentriques 25, sont spécialement étudiées pour le chauffage des tôles destinées à la fabrication par étampage des pelles, rateaux, fourches, etc. Leur emploi se comprend au seul aspect des figures.

Le dispositif fort simple représenté par les figures 6 et 7 permet de chauffer rapidement de courtes pièces terminées en pointes. Ces pièces 100, insérées, puis serrées entre les électrodes au moyen de la manette à crémaillère 36, sont, pendant la chauffe, maintenues par la traction du

poids 56 sur la corde 55, qui repousse l'électrode 50.

L'appareil représenté par les figures 8 et 9 per-

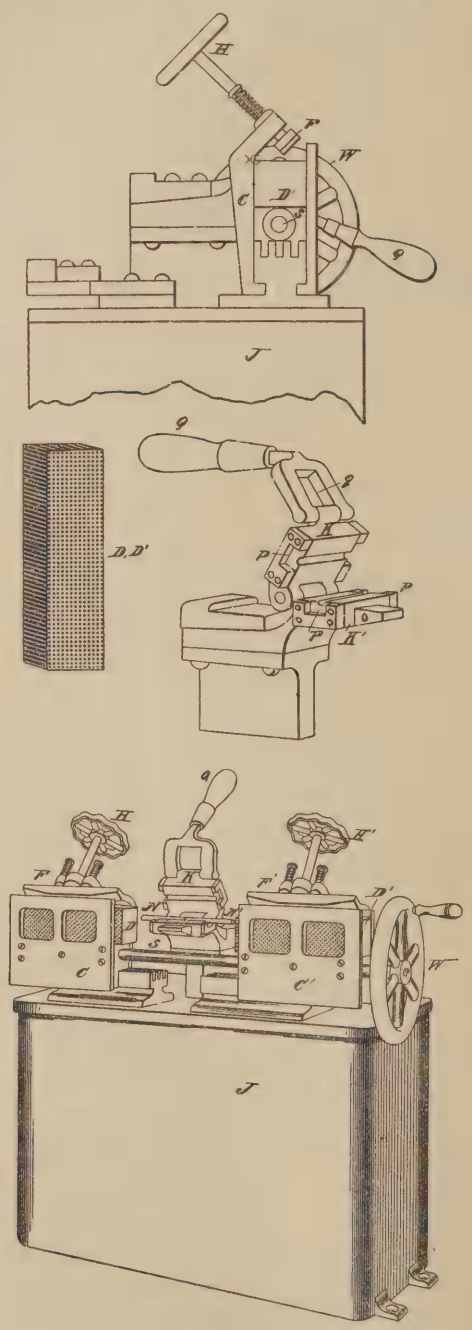


Fig. 12 à 14. — Coffin (1892). Forge à l'étampe. Elévation, vue par bout; détail de la machine et d'un pôle.

met de chauffer indépendamment les bouts des barres 40, appuyées par leurs extrémités sur le disque 25, relié par 20 au pôle négatif R' du transformateur, et guidée par les croisillons 2.2 du pôle positif R. En outre, le réservoir à circulation d'eau 30 empêche la chaleur de la forge de se transmettre au transformateur.

La figure 10 indique schématiquement la distribution adoptée par MM. Angell et Burton

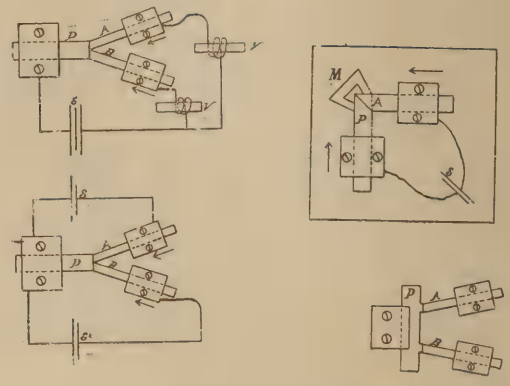


Fig. 15 à 18. — E. Thomson (1892). Soudures angulaires.

pour la soudure à l'arc. Le circuit principal 10 10 traverse un rhéostat à liquide 20 et un rhéostat variable 31, et chacun des arcs 56 est dérivé sur ce circuit par 5, le rhéostat liquide 52, le retour 63.102 et le rhéostat local 62. Le fil 105 relié d'une part à l'électro-aimant 101, et de

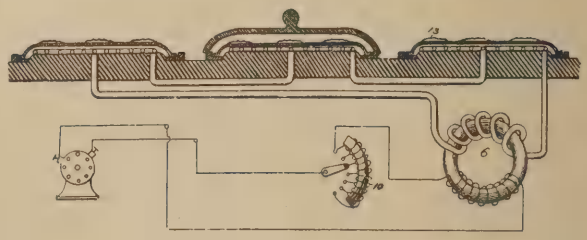


Fig. 19. — E. Ries (1892). Forge d'orfèvrerie.

l'autre à la plaque en travail 50, la magnétiserait, d'après l'inventeur, au point de donner à l'arc une direction fixe et une stabilité très grande. Quant à l'électro 101, excité par toutes les dérivations, il substitue, dès qu'un arc entre en travail, le rhéostat auto-régulateur 31, dont il attire le bras 32, au rhéostat liquide fixe 20, traversé par la totalité du courant tant qu'aucun arc ne fonctionne.

La figure 11 indique comment une disposition générale analogue peut s'appliquer à la fois à différents travaux tels que la soudure et le chauf-

fage semi-direct par l'arc électrique. On y reconnaît en 30 et 40 les rhéostats liquides de sûreté de la disposition précédente.

La forge de *C. L. Coffin* représentée par les

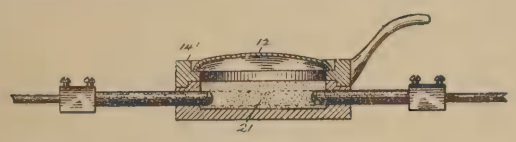


Fig. 20. — Ries. Radiateur à poussier de charbon.

figures 12 à 14 permet de faire rapidement à l'étampe les têtes de boulons, etc.

Les flans N et N' disposés comme en figure 12

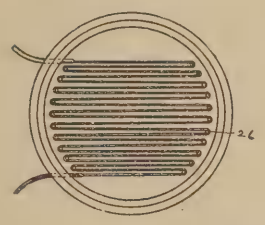


Fig. 21. — Ries. Radiateur parallèle.

sont serrés dans les mâchoires K et K' par le rabattement et le forçage de la maille Q *q* sur le penne O, puis on rapproche, par la manette W et

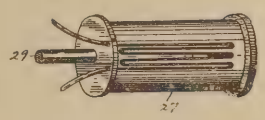


Fig. 22. — Ries. Radiateur cylindrique.

la vis isolée S, les armatures C C du transformateur J, dont les pôles D D', en cuivre alvéolé pour éviter leur échauffement, portent au rouge

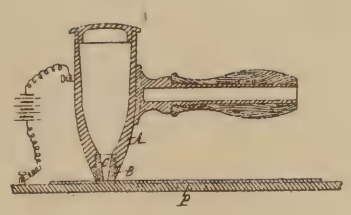


Fig. 22. — De Benardos (1892). Creuset à soudure.

les extrémités des tiges N N' et les refoulent dans les matrices *p p*. Ainsi qu'on le voit en figure 14, les pôles D D' sont serrés en C et C' par les blocs F F' des vis H H'. On fabrique avec cette machine deux boulons d'un seul coup d'étampe.

Les figures 15 à 18 représentent différentes dispositions récemment proposées par *M. E. Thomson* pour la soudure des pièces obliquées ou des fers d'angle.

En figure 15, on soude obliquement sur la grosse

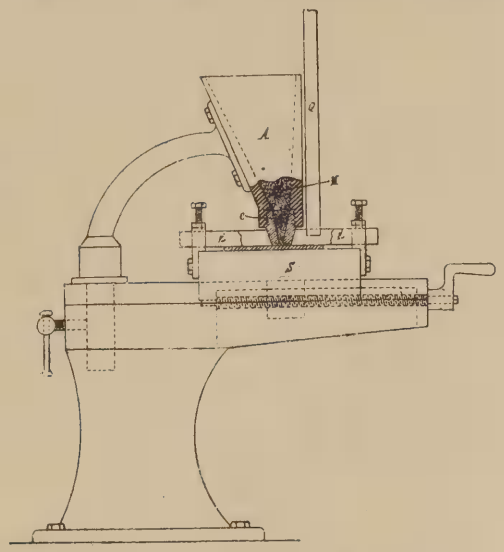


Fig. 23. — De Benardos. Forge à creuset fixe.

pièce D les deux petites pièces A et B, en réglant en V V¹ l'intensité du courant de manière que les trois pièces atteignent simultanément leur température de soudure. En figure 16, on arrive

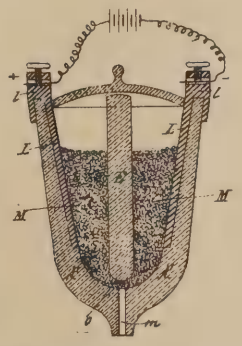


Fig. 24. — De Benardos. Creuset cloisonné.

au même résultat par l'emploi de deux sources d'électricité $s\,s_1$ au lieu d'une seule.

La figure 17, qui s'explique d'elle-même, représente la soudure de deux fers d'angle égaux A et P guidés et appuyés par le tasseau M; et la figure 18 montre schématiquement l'application du procédé à l'exécution d'une pièce d'un usage

fréquent dans la ferronnerie, en soudant d'un coup les bras A et B sur le corps P.

M. Ries opère la soudure de certaines pièces, principalement des pièces d'orfévrerie, telles que des boîtiers de montres, etc., au moyen de radiateurs électriques constitués par des spirales de platine ou d'argentan enroulées sur des bases isolantes réfractaires, épousant le mieux possible la forme de l'objet en travail.

La figure 19 représente trois de ces radiateurs reliés en série au secondaire d'un transformateur 6, dont le primaire est pourvu d'un rhéos-

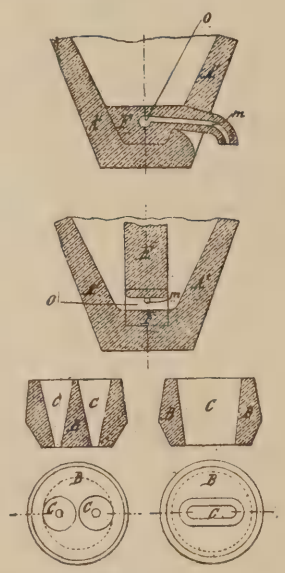


Fig. 25 à 30. — De Benardos. Types de creusets.

tat d'induction 10. On voit en travail des boîtiers sur lesquels on fixe par soudure rayonnante des ornementations métalliques 13; celui du milieu est recouvert d'une cloche isolante pour concentrer la chaleur et l'abriter de l'air. On obtient ainsi une chaleur très uniformément répartie sur toute l'étendue du travail, et parfaitement réglable par le rhéostat 12, de sorte que la fabrication en série devient très simple et très rapide.

On peut évidemment grouper ces radiateurs de mille manières en fusion, dérivation, etc., et les actionner par des accumulateurs, etc., en un mot, les adapter facilement aux circonstances les plus variées.

Le radiateur représenté par la figure 20 est constitué par une masse de charbon granulé 21, renfermée dans une embase réfractaire isolante, qui laisse passer les pôles du circuit, formés par deux gros charbons. La pièce en travail 12 repose sur un anneau mobile 14', approprié à sa forme. Après avoir amené les charbons au contact, au centre de l'embase, on la remplit de charbon granulé, on y dispose la pièce, puis on sépare graduellement les charbons de manière à atteindre petit à petit la température voulue, qui peut être très élevée.

En figure 21, le radiateur est constitué comme

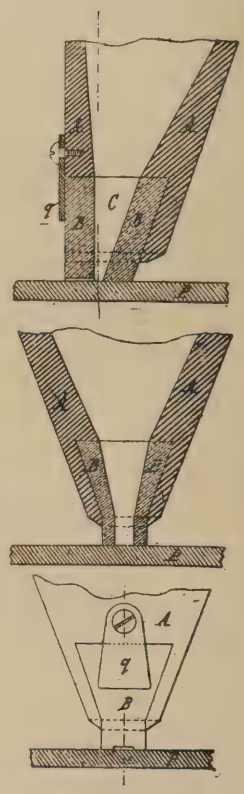


Fig. 31 à 33. — De Benardos. Creuset de platinage.

le précédent, mais en y remplaçant le charbon par un fil de platine tendu sur des fiches 26. Enfin, en figure 22, le radiateur est disposé sur une partie de la surface cylindrique réfractaire 27, que l'on manipule ou fixe au moyen de la tige isolante 29.

M. de Benardos a récemment breveté l'appareil représenté par la figure 23, et qui peut servir, d'après lui, non seulement à souder, braser et glacer les métaux, mais aussi à recoller les fontes, boucher les soufflures, etc.

Cet appareil consiste essentiellement en un

creuset de plombagine A, dans lequel se trouve le métal soudant ou la brasure en grenailles, traversé par le courant et terminé par un ajutage réfractaire B C, avec gorge d'écoulement, permettant d'étaler la brasure comme par un pinceau. On peut donner à cet appareil les formes de spécialisation les plus variées, par exemple rendre (fig. 23) le creuset A fixe et la plaque à souder mobile avec son enclume S, sous son marteau Q qui achève la soudure.

En figure 24, le creuset, divisé en deux par une cloison réfractaire, est relié au courant par deux plaques métalliques L L, et la température

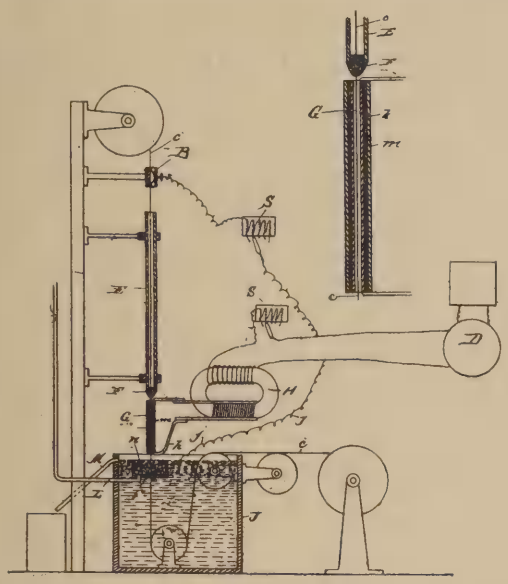


Fig. 34. — Trempe électrique Purdy (1892).
Fig. 35. — Détail du radiateur *g*.

atteint son maximum sous la cloison, en *o*, dans la section la plus contractée du métal de soudure, qui s'en écoule par *m*. En figure 25 et 26, le fond amovible F du creuset est pourvu d'un canot d'écoulement *o m*, dont l'orifice *m* est un peu au-dessus du lit de fusion proprement dit, ce qui en régularise l'écoulement et le débarrasse des scories, etc. On emploie pour le placage, le glaçage ou le platinage des métaux, les fonds représentés par les figures 27 à 30, et pour la soudure des joints, ceux des figures 31 à 33, avec assemblage en queue d'aronde retenu par le loquet *q*.

Nos lecteurs savent avec quelle facilité l'électricité se prête à la trempe des fils ou des menus objets en acier [1], l'appareil de *M. Purdy*, ingénieur de l'American Spring C°, de Chicago, représenté par les figures 34 et 35, a pour objet de donner aux ressorts de montre une trempe parfaitement uniforme, indépendamment des variations de section et de carburation qui s'y rencontrent presque inévitablement [2]. A cet effet, au lieu de chauffer le fil ou la lame *c c* du ressort uniquement par un courant direct qui y produirait des températures inégales aux points susdits, M. Purdy la chauffe partiellement en E par un courant qui n'en élève qu'un peu la température, puis il la porte à la température de trempe par le rayonnement d'un tube de platine G, que

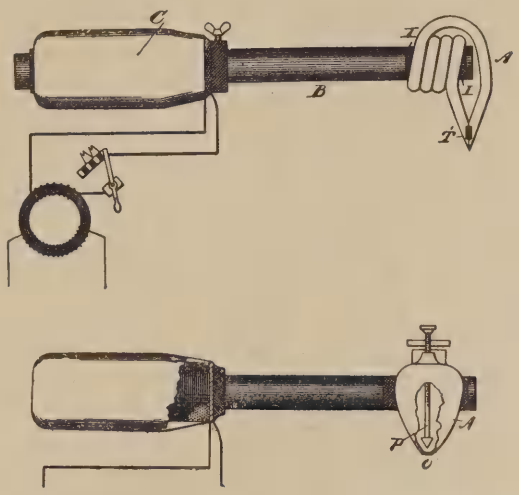


Fig. 36 et 37. — Fers à souder Coffin (1892).

le fil traverse, et qui est maintenu au rouge par le courant d'un transformateur H. Le tube G est, comme l'indique la figure 35, enveloppé d'une double gaine d'amiante R et de poterie ou de métal *m*, qui l'empêche de se déformer et de voir sa température varier par les courants d'air, etc. Quant au courant direct de la dynamo D, il parcourt le fil du contact à ressort B au contact *n*, formé de billes qui le débarrassent en même temps des bulles qui s'y forment dès son entrée dans le bain de trempe. Les courants, qui doivent être alternatifs pour ne pas magnétiser le ressort, sont réglés par des rhéostats S S, et le bain de trempe est renouvelé par une

(1) Riess. *La Lumière Électrique*, 24 oct. 1891, p. 160; Angell et Burton, 21 mai 1892, p. 357.

(2) Voir aussi le brevet américain *Sedwick*, 369 560, 6 sept. 1887.

circulation L M; enfin, le tube passe, avant d'arriver en G, dans une gaine en terre réfractaire E, qui l'abrite des courants d'air et le guide par la filière métallique F.

Le fer à souder de *Coffin* représenté par la figure 36 se compose d'un enroulement primaire C, excité par un transformateur T, et qui détermine dans le secondaire A, isolé en I du noyau de fer doux B, des courants très intenses et une température très élevée, principalement à la pointe, où se trouve insérée une pastille de charbon T', de manière à y provoquer un accroissement notable de la résistance.

En figure 37 le secondaire A est creux et rempli d'un alliage de soudure qui fond et s'écoule par l'orifice *o*, que l'on découvre en retirant la pointe *p*.

SOUDURES ET FOYERS ÉLECTRIQUES

DÉCRITS DANS MES PRÉCÉDENTS ARTICLES

Angell et Burton, 7 mars, 24 oct. 1891, 457, 153; 21 mai, 15 oct. 1892, 354, 116. Atkinson, 8 nov. 1890, 257.

Benardos, Howard et Olzewky, 21 déc. 1891, 575; 20 fév., 21 mai, 15 oct. 1892, 386, 353, 116. Coffin, 4 oct., 8 nov. 1890, 29 et 263; 7 mars, 24 oct. 1891, 452, 455, 155; 20 fév., 15 oct. 1892, 360, 115.

Dewey, 8 nov. 1890, 264; 7 mars, 24 oct. 1891, 453, 155. Gendron, 21 mai 1892, 358. Joule, 8 nov. 1890, 257. Powler, 8 nov. 1890, 265. Siemens et Williamson, 8 nov. 1890, 257; 21 mai 1892, 358. E. Thomson et Lemp, 28 déc. 1889, 622; 16 fév., 14 juin, 8 nov. 1890, 327. 522, 257; 7 mars, 24 oct. 1891, 452, 152. Zerener, 20 fév. 1892, 357. Wilde, 8 nov. 1890, 257. Werndley et Foster, 7 mars 1891, 456.

Brunissage. Dewey, 7 mars 1891, 455.

Cémentation. Thomson, 8 nov. 1890, 262.

Etampage. Dewey, Burton, 7 mars 1891, 487, 454.

Fers à souder. Carpenter, 24 oct. 1891, 156. Coffin, 20 fév. 1892, 360. Miner, 4 oct. 1890, 32. Mitchell, 20 fév, 15 oct. 1892, 360, 115. Zipernowsky, 20 oct. 1891, 156.

Fondeur Slavianoff, 25 oct. 1891, 159.

Trempe et recuit. Angell et Burton, 21 mai 1892, 357. Riess, 24 oct. 1891, 160.

Rivure. Dewey, 8 nov. 1890, 264. Ries, 24 oct. 1891, 21 mai 1892, 358.

GUSTAVE RICHARD.

SUR LA MISE A LA TERRE

DES CIRCUITS CONDUCTEURS

Savoir quelque chose, c'est notre but constant, c'est la fin de nos efforts; mais sait-on jamais? Peut-on jamais dire de quelque question : « Nous le savons, nous en connaissons tous les points, et ce que nous savons est sûr? » Combien de fois avons-nous vu les connaissnces que nous croyions bien assurées, profondément modifiées, renversées tout à fait par des connaissances nouvelles! Ce n'est pas une peine, du reste : croire qu'on sait est un état d'âme qui a son agrément; s'apercevoir qu'on ne savait rien, qu'il faut tout rapprendre et rechercher à nouveau, n'est pas sans charme : cela renouvelle les horizons en les étendant.

Quoi qu'il en soit, du reste, il vaut mieux prendre les choses de ce côté, car l'électricité nous procure sans cesse des surprises de ce genre : elle les fait même si fréquentes qu'on a cessé d'en être ému et qu'avec elle on est un peu préparé à tout. Il n'est pas de question connue sur laquelle on se considère comme fixé; et en énonçant les solutions les mieux acquises, on ajoute dans son esprit : sous toutes réserves.

On trouverait, par exemple, dans des ouvrages sur l'électricité qui n'ont pas besoin d'être fort anciens, l'affirmation que pour fermer un circuit électrique on peut faire usage de la terre, qui n'oppose aucune résistance au passage du courant : il y a déjà beau temps que l'on sait combien il faut faire de réserves sur ce point.

M. Picou a fait il y a quelques jours à la Société des Électriciens une communication intéressante sur la terre des circuits employés pour l'éclairage. On en trouvera le compte rendu dans le dernier numéro de ce journal.

Il ne s'agissait pas dans ce travail du retour électrique par la terre proprement dit, on sait que l'emploi de ce procédé est interdit en France pour les grandes installations : il examinait l'intérêt qu'il peut y avoir à mettre en communication avec la terre un certain nombre de points du circuit, dans le but de maintenir ces points au potentiel zéro, et d'obtenir ainsi dans l'ensemble du circuit la répartition des potentiels la plus favorable à sa bonne conservation.

Dans cette combinaison, s'il peut y avoir écoulement temporaire d'électricité entre le circuit et la terre par les communications établies, il ne doit jamais exister de courant normal entre les points ainsi reliés; il faut donc évidemment que ces points soient, dans la distribution, au même potentiel et qu'ils y soient

maintenus naturellement pendant le service d'éclairage.

D'une manière générale la mise à la terre a pour but d'empêcher sur la canalisation le développement de potentiels absolus indéterminés; mais elle a d'autres utilités spéciales. On en fait principalement usage dans la distribution à trois fils où l'on met à la terre le fil compensateur. La communication de M. Picou rappelle qu'à défaut de cette précaution, un accident peut à la fois éteindre les lampes d'un pont par formation d'un court circuit et brûler celles de l'autre pont par surélévation de la différence de potentiel; avec la mise à la terre l'accident est localisé à l'un des ponts.

Pour que la pratique fût conforme à la théorie, il faudrait qu'il n'y eût qu'un point du compensateur mis à la terre; il passe du courant dans ce conducteur quand les deux points ne sont pas également chargés, ce qui n'a rien d'anormal; tous ses points ne sont donc pas au même potentiel, et si plusieurs de ces points sont à la terre, il y aura retour partiel par cette voie; je pense que dans la pratique cela a lieu fréquemment; nous reviendrons sur ce point un peu plus loin.

Dans les distributions faites avec deux fils, la mise à la terre paraît moins utile; on ne voit pas de motif pour qu'il s'y développe des potentiels absolus élevés, ni surtout pour qu'ils s'y maintiennent. Sans doute la précaution consistant à mettre un point de la canalisation en communication avec la terre à travers une résistance convenable n'aurait pas d'inconvénient, mais dans la réalisation on n'a guère occasion d'établir exprès des communications de cet ordre; on passe son temps, au contraire, à les empêcher d'être trop nombreuses et trop faciles.

Nous l'avons dit déjà, en supposant que la canalisation générale faite avec soin et bien entretenue soit pure de tout contact avec la terre, il est à peu près impossible d'empêcher que de pareilles communications existent plus ou moins franches dans les canalisations particulières. Je ne sais si la récente création du bureau de contrôle des installations dont nous avons parlé aura l'influence que nous espérons sur cet état des choses; il est bien à espérer qu'elle l'améliorera, mais compter qu'elle atteindra la perfection serait chimère. Il y a, et il y aura des terres chez les abonnés.

La théorie indique que si l'on veut établir des communications de ce genre, il est préférable de le faire sur le câble négatif. Avec cette disposition, s'il y a écoulement lent d'électricité, et par suite électrolyse dans le voisinage de la canalisation, les effets se localiseront sur la canalisation; dans le cas contraire, on détruit les tuyaux d'eau, de gaz; il peut en résulter des ennuis graves; évidemment, dans les deux cas il y a dégât et dépense, mais il vaut encore mieux payer pour soi que d'avoir à payer pour les autres; ils coûtent plus cher et font du bruit.

En fait, on n'est guère maître de placer ces communications comme on le veut, puisqu'elles se produisent malgré nous et sont incessamment variables. On en est un peu réduit à la bonne volonté du génie mystérieux qui régit les choses électriques, sans négliger bien entendu une surveillance régulière et une réparation active; aide-toi, le ciel t'aidera.

D'ailleurs ces communications ont généralement une assez grande résistance. Je connais des personnes qui pensent que cela est fâcheux: mieux vaudrait, disent-elles, des terres franches: le court-circuit aurait lieu, les plombs de sûreté sauteraient; on réparerait le défaut, et tout serait dit; au lieu que ces terres sournoises ne se révèlent que par une perte de courant.

Cette opinion radicale ne me paraît pas justifiée; réparer le mal au prix d'un accident est trop cher; d'ailleurs, qu'on le veuille ou non, les choses se passent ainsi, parce qu'en fait une terre franche est rare, et que pour l'obtenir il faut, le plus souvent, l'avoir fait exprès.

M. Picou a, dans sa communication, déconseillé la pratique consistant à mettre un câble à la terre tout simplement en le couchant nu dans une tranchée; il constate qu'une pareille terre est mauvaise et inégale, que des points du câble situés à une certaine distance peuvent se trouver à des potentiels différents, qu'il y a alors électrolyse entre ces points et attaque du câble. Cette remarque montre bien ce que nous disions plus haut, c'est-à-dire que dans la pratique on a souvent de véritables retours par la terre.

Nous savions, du reste, qu'un conducteur couché sur le sol donne une mauvaise terre. Les tramways et chemins de fer électriques qui ferment leur circuit par le rail ont dû compter seulement sur le rail lui-même, et pour cela faire des joints conducteurs. On n'ignore pas que les

tuyaux de gaz donnent de mauvaises terres, que les tuyaux d'eau construits de certaines façons, avec des joints à caoutchouc, par exemple, se comportent de même ; en somme, quand il s'agit d'un courant intense, il est difficile d'avoir une bonne terre.

A supposer qu'on y arrive, on ne serait pas beaucoup plus avancé : la terre ne se comporte pas comme un conducteur : c'est un milieu où le potentiel est nul, mais si on modifie le potentiel en un de ses points, on crée une région où le potentiel n'est pas 0, et la limite de cette région est d'autant plus reculée que le voltage et l'intensité introduits sont plus élevés ; en sorte que la terre présente une résistance apparente qui, comme on le sait, peut atteindre des valeurs très notables, résistance très variable d'ailleurs, fonction du courant lui-même, en même temps que de toutes les circonstances extérieures. La terre est donc, en réalité, un moyen de retour fort mauvais.

Ajoutez que son emploi pousserait à l'extrême la difficulté de la juxtaposition des installations à courants intenses avec les installations à faibles courants, télégraphie et téléphonie. Cette difficulté est déjà sérieuse dans l'état actuel ; sans parler de l'induction, les communications par la terre sont assez fréquentes, bien qu'on cherche à les éviter ; on ne peut arriver à des isolements absolus, et quand on a pour voisin un personnage aussi susceptible que le téléphone, quoi qu'on fasse, les inconvénients se produisent.

Je crois que la conclusion à laquelle on sera amené est la renonciation générale à la terre ; aussi bien pour les courants faibles que pour les courants puissants, c'est un moyen dont on peut se passer ; on commence à reconnaître, en principe, qu'il ne vaut pas la dépense qu'il fait épargner ; à mesure que l'électricité se répandra, on s'en écartera de plus en plus.

FRANK GÉRALDY.

LA STATION CENTRALE DE DESSAU [1]

Dans le cas où l'on ne disposerait pas d'un terrain suffisant pour n'employer, comme à Dessau, que des constructions à un seul étage, on pourrait adopter une disposition analogue à celle que nous représentons en plan (fig. 8) et qui est préconisée par la *Deutschen Continental Gas Gesellschaft*.

Cette usine est établie en prévision d'une installation de 10 000 lampes de 16 bougies, dont 7500 brûleraient en même temps. Elle comprend 4 moteurs à gaz de 120 chevaux et deux batteries d'accumulateurs absorbant chacune toute la production d'une des unités de 120 chevaux ; ces batteries seraient placées dans des pièces élevées au-dessus de la salle des machines.

La charge des accumulateurs avec deux machines commencerait vraisemblablement pendant les mois d'hiver à 8 heures du matin et serait continuée, avec plusieurs équipes d'ouvriers et en comptant une interruption de deux heures et demie au moment des repas, jusqu'à 10 heures du soir. Pendant les moments de forte consommation, le troisième moteur serait, le soir, directement attelé sur les câbles du réseau ; le quatrième moteur resterait complètement en réserve. Pendant les autres périodes, la consommation serait assurée par les accumulateurs.

L'espace nécessaire pour toute l'installation y compris les bureaux, ateliers, magasins, etc., ne s'élèverait, avec ce projet, qu'à 370 mètres carrés.

Avec des moteurs à deux cylindres de 150 chevaux, tels qu'il en existe actuellement, on pourrait avec le même emplacement installer une usine d'une capacité de 14000 lampes reliées, correspondant à 10500 lampes brûlant en même temps.

Statistique d'exploitation.

Comme nous le disions au début de cette étude, la station centrale de Dessau est de moyenne importance.

En 1886, elle n'alimentait que 1014 lampes à incandescence de 55 watts et 4 lampes à arc, le tout correspondant à 1076 lampes à incandescence ; à la fin de 1891, sa capacité était de 2500 lampes et les installations effectuées correspondaient à 3908 lampes de 50 watts. Le tableau I donne l'accroissement par année des appareils reliés, tandis que le diagramme de la figure 9 permet de suivre la vente correspondante de courant depuis 1886 jusqu'au 31 décembre 1891.

[1] *La Lumière Electrique*, 11 février 1893, p. 266.

Depuis peu les lampes de 55 watts ont été remplacées par des lampes de 50 watts (3 1/8 watts par bougie).

On voit que les moteurs électriques sont encore peu répandus à Dessau ; la ville renferme pourtant des usines qui pourraient en tirer avantage. Il convient de remarquer que leur accroissement, par suite du mode d'exploitation adopté, ne ferait qu'augmenter le coefficient d'utilisation sans influer sur le rendement des

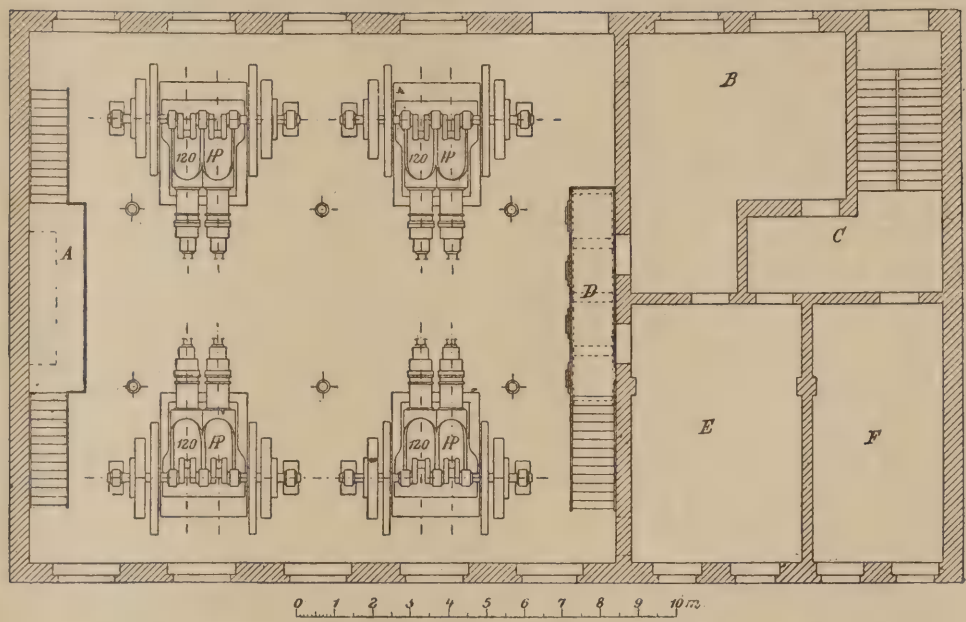


Fig. 8. — Projet d'une station centrale d'éclairage électrique avec moteurs à gaz pour 10000 lampes installées. A, tableau de distribution; B, atelier en dessous de la réserve d'huile, chiffons, etc.; C, corridor; D, compteurs à gaz élevés sur galerie; E, bureau situé sous le magasin; F, bureau du directeur, situé sous le magasin.

moteurs et que l'usine ne pourrait consentir à des sacrifices aussi considérables que certaines stations centrales pour en multiplier l'usage.

TABLEAU I

Années	Nombre de lampes à incandescence	Nombre de lampes à arc	Nombre de moteurs	Nombre correspondant de lampes de 16 bougies
31 décembre 1886.	1014	4		1076
— 1887.	2027	27		2400
— 1888.	2064	48		2544
— 1889.	3094	56		3565
— 1890.	3194	59	3 de 1 1/2 cheval	3689
— 1891.	3284	59	1 de 1 cheval...	3908

Le tableau II donne le nombre de kilowatts-heures vendus annuellement ainsi que les consommations correspondantes de gaz et d'eau.

La durée annuelle d'allumage indiquée est calculée en admettant que le nombre de lampes installées est égal à la moyenne du nombre de lampes reliées au 1er janvier et au 31 décembre de l'année considérée. Ce calcul conduit à des valeurs un peu trop élevées par suite de la plus grande durée d'allumage des lampes dans les derniers mois de l'année. La moyenne de 200 heures est excessivement faible; elle explique les résultats financiers peu brillants de l'exploitation jusqu'à ce jour; elle tient à plusieurs causes. D'abord, les lampes des palais sont très rarement allumées; si l'on ne considère que les installations privées, la durée moyenne d'allumage est d'environ moitié plus élevée.

Le même calcul effectué pour les lampes à gaz donne une moyenne de 437 heures ou de 524 heures suivant que l'on admet qu'un bec de 16 bougies brûle 150 ou 180 litres à l'heure. Cette différence considérable est due à ce qu'une grande partie des clients emploient simultanément le gaz et l'électricité; la facilité d'éteindre ou d'allumer les lampes électriques par un

simple tour de clé, et, en hiver, le besoin de chaleur tendent à élever la consommation de gaz et à diminuer la vente de courant; en outre, dans les petites villes, les meilleurs clients (magasins et restaurants) ferment de bonne heure et une partie des clients (bureaux et grands magasins) n'entrent que pour très peu en ligne de compte.

TABLEAU II

Années	Nombre de kilowatts-heures vendus	Durée annuelle moyenne d'allumage par lampe	Consommation de gaz	Consommation d'eau	Heure de la plus grande consommation	
		heures	mètres cubes	mètres cubes	dates	watts
1886	6 600		27 754	2980		
1887	20 500	228	54 189	2540		
1888	25 600	188	60 020	4080	14 décembre	73 600
1889	35 000	208	68 733	3000	4 décembre	126 500
1890	38 550	194	67 099	2200	5 novembre	112 700
1891	38 600	203	61 495	1780	27 octobre	86 250

Cette consommation est d'ailleurs très irrégulière; elle atteint souvent une valeur supérieure au débit indiqué des dynamos, comme le fait voir la dernière colonne du tableau II.

En 1889 et 1890, la puissance totale des dynamos était de 108 000 watts; le 4 décembre 1889, le débit a été pendant une heure de 126 500 watts et le 5 novembre 1890, de 112 700 watts.

Le capital représenté par les différentes parties de l'entreprise est donné dans le tableau III.

TABLEAU III. — *Capital engagé.*

Années	Terrain	Constructions	Moteurs et dynamos	Canalisation et pose	Compteurs	Accumulateurs et divers	Total
	francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs
1886	19 625	34 250	137 500	8 125	2375	105 250	307 500
1887	19 625	34 250	127 125	55 875	6500	152 500	395 625
1888	19 625	34 250	118 750	54 500	5625	125 000	357 750
1889	19 625	35 000	116 250	53 500	6250	121 250	351 875
1890	19 625	38 000	103 750	52 125	5500	125 625	394 125
1891	19 625	38 000	75 000	51 000	5250	142 375	378 500

On voit que par suite des modifications apportées au matériel, le capital engagé n'a presque pas varié depuis l'origine, bien que le nombre de lampes installées soit 3 1/2 fois plus élevé qu'en 1886. Le capital engagé rapporté à la lampe de 16 bougies est tombé de 286 francs en 1886 à 97 francs en 1891. Ce dernier chiffre, qui est très bas, pourrait être encore sensiblement diminué dans une installation de même puissance créée de toutes pièces.

La dépréciation est calculée sur les bases suivantes :

Constructions	1 0/0
Moteurs et dynamos	12,5
Accumulateurs	10
Tableaux et canalisation	3

Le personnel se compose de l'ingénieur en chef et de

1 assistant
2 mécaniciens
1 monteur
1 ouvrier

En résumé, le prix de revient par kilowatt-heure vendu s'établit comme suit, (tableau IV) (1 mark = 1,25 fr.).

Il est regrettable que les réparations ne soient pas plus clairement détaillées, principalement pour les accumulateurs.

Ces prix sont les plus élevés que nous connaissions; mais ils se composent en majeure partie des appointements, intérêt, dépréciations, réparations, qui sont très largement comptés;

ils sont dus, comme nous l'avons déjà fait remarquer, à la faible durée d'allumage des lampes : le coefficient d'utilisation du matériel n'est que de 4 o/o. Ils ne sont donc pas directement comparables aux prix de revient des autres stations centrales.

TABLEAU IV

Nature des dépenses	1887	1888	1889	1890	1891
	cent.	cent.	cent.	cent.	cent.
Gaz (à 0,125 f. le m³).	34 62	29 75	25 75	22 96	20 87
Eau (à 0,125 f. le m³).	1 63	1 63	1 »	0 75	0 63
Huile, graissage.....	8 12	2 62	2 »	1 46	1 57
Appointements.....	42 37	50 25	36 37	29 63	28 37
Réparations, entretien, loyers, impôts, assurances.....	56 25	55 75	38 63	33 13	30 »
Intérêts.....	0 00	7 75	8 50	37 13	38 75
Dépréciations, amortissement.....	70 12	52 63	65 25	55 25	54 75
Totaux....	213 09	180 38	177 50	180 31	174 97

Si l'on se reporte au tableau II, on voit que la consommation du gaz par kilowatt-heure vendu a été

De 4205 litres en 1886,
2643 — 1887,
2344 — 1888,
1964 — 1889,
1740 — 1890,
1593 — 1891.

Mille kilos de charbon produisent 300 mètres cubes de gaz; on a donc, en réalité, dépensé à Dessau :

En 1886, 14,000 kilos de charbon par kilowatt-heure vendu
1887, 8.100 — —
1888, 7,800 — —
1889, 6,550 — —
1890, 5,800 — —
1891, 5,310 — —

Ces poids sont comparables avec ceux qu'on obtient dans les stations centrales à courant continu, avec moteurs à vapeur, mais il ne faut pas oublier que le travail, à Dessau, est excessivement faible, que la moitié au moins du courant est fournie par les accumulateurs, et que les moteurs à gaz employés ont une consommation spécifique assez élevée. Par suite du prix du gaz, il faut compter le charbon au prix de 37 fr., à peu près, les 1000 kilos.

Il est un autre point sur lequel nous voudrions attirer l'attention d'une façon particulière : c'est la perte totale subie dans les stations centrales.

En comptant le cheval-vapeur à 736 watts, on déduit des chiffres précédents les consommations de gaz suivantes par cheval-heure :

En 1887..... 1945 litres.
1888..... 1725 —
1889..... 1457 —
1890..... 1280 —
1891..... 1172 —

M. von Oechelhaeuser, dans son rapport publié lors de l'exposition de Francfort [1], a donné les chiffres suivants comme moyenne de la consommation de gaz calculée d'après la statistique annuelle (Eine Pferdekrafstunde verbrauchte im Jahresdurchschnitt).

En 1887..... 953 litres.
1888..... 920,6 —
1889..... 808 —
1890..... 750 —
1891..... 730 —

Ce qui correspond à une perte totale de

51 o/o en 1887
46,6 — 1888
45 — 1889
41,4 — 1880
37,7 — 1891

différence entre l'énergie mécanique générée à l'usine et l'énergie électrique utilisée par le client.

Nous avons cherché à obtenir des chiffres analogues dans différentes stations centrales; tous les ingénieurs à qui nous nous sommes adressé nous ont répondu à peu près invariablement que cette perte était considérable, qu'ils l'avaient établie point par point, qu'il n'y avait rien d'anormal, mais qu'ils ne pouvaient divulguer le chiffre exact. Nous connaissons des usines où la perte est beaucoup plus considérable qu'à Dessau, mais sans avoir de chiffres exacts à pouvoir citer; à Dessau, des soins intelligents ont pu réduire les pertes de 51 o/o en 1887 à 37,7 o/o en 1891; elles pourraient sans doute être encore diminuées si la question était mieux étudiée; il y aurait donc intérêt à posséder à ce sujet des renseignements précis; les chiffres que nous venons de donner sont les seuls qui aient jamais été publiés.

[1] *Bericht über den Betrieb des Electrischen centrale Dessau in den Jahren* 1886-1891, par M. von Oechelhaeuser, Berlin et München, 1891, in-8°.

Les pertes s'expliquent par les transformations qu'on fait subir à l'énergie mécanique et électrique avant de l'utiliser, aux pertes dans les canalisations, dans les compteurs et appareils de mesures, etc. Souvent les compteurs n'enregistrent pas lorsqu'un faible nombre de lampes sont allumées.

A Dessau, le rendement de la dynamo commandée par courroies est de 83 o/o ; si l'on admet que la moitié du courant passe dans les accumulateurs et subit une perte de 21 o/o, il ne reste plus, au sortir de la batterie que 74 o/o de l'énergie primitive ; 15,8 o/o de ce courant sont encore perdus dans la canalisation, les appareils de mesure, compteurs, etc.

Il convient de tenir compte de ce fait en calculant quelle est l'utilisation du matériel ; les dynamos pourraient produire, en tournant constamment à pleine charge, 1 128 288 killowatts-heures par an ; on a vendu 38 600 kilowatts-heures

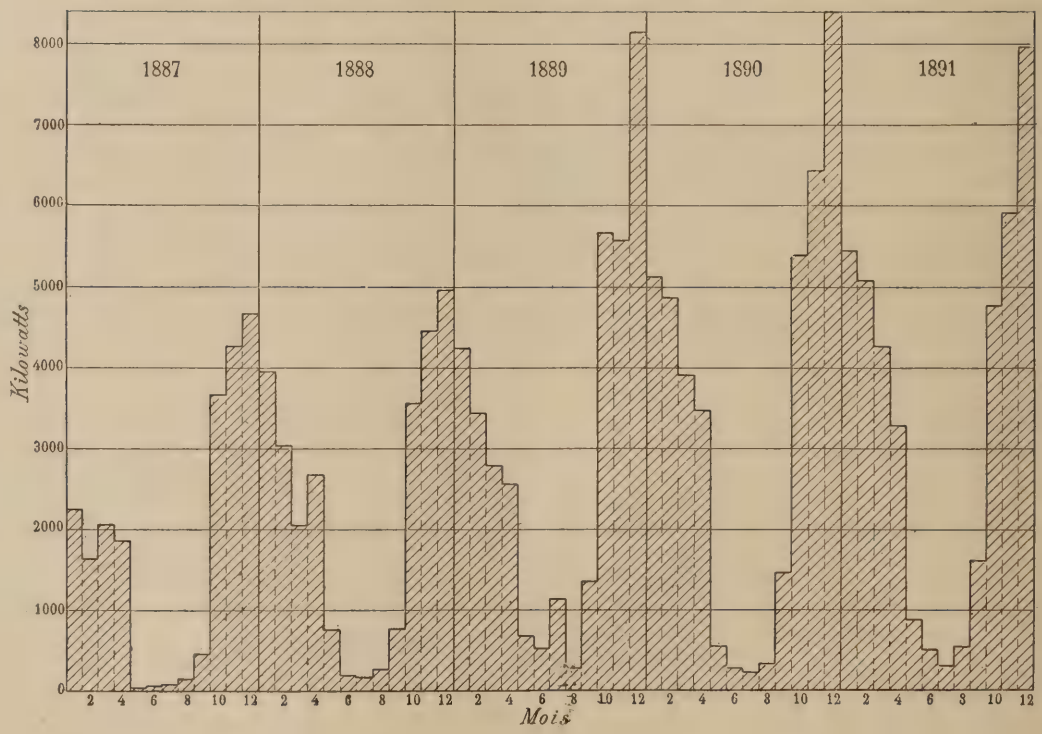


Fig. 9. — Diagramme de la vente de courant de 1887 à 1891.

correspondant à 50 000 watts produits environ ; l'utilisation du matériel est donc de $\frac{50\,000}{1\,128\,288} = 0{,}04$.

Le coefficient de charge des moteurs, comme nous l'avons déjà expliqué, est égal à l'unité en général.

Cette différence considérable entre la production de l'usine et les indications des compteurs explique les consommations exagérées de charbon que révèlent les statistiques d'exploitation.

Il nous resterait, pour terminer cet article, à étudier le cas où l'usine aurait fabriqué elle-même son gaz, — gaz de houille, gaz à l'eau, gaz Dowson, — à évaluer les consommations correspondantes de charbon en tenant compte de la puissance calorifique des différents gaz et de leur mode de production, enfin à comparer les prix de revient. Cette étude nous entraînerait trop loin aujourd'hui ; nous nous proposons d'y revenir dans un prochain article.

G. Pellissier.

LA REPRODUCTION DU DIAMANT

ET LES FOURS ÉLECTRIQUES

On sait que certains métaux ont la propriété de dissoudre le charbon et de l'abandonner ensuite à l'état solide et cristallisé sous forme de graphite par refroidissement lent. Toutes les tentatives faites pour obtenir le carbone cristallisé incolore par dissolution dans les métaux ont échoué. On cite néanmoins une expérience de Marsden qui serait parvenu à préparer en même temps du carbone cristallisé incolore et coloré en se servant d'argent fondu et en le laissant refroidir lentement.

Après une étude de plusieurs années et des essais nombreux, M. H. Moissan a eu l'idée de faire cristalliser le charbon dissous dans les métaux fondus *sous pression*. Il a opéré avec l'argent et la fonte dans un four électrique constitué très simplement par un morceau de chaux, creusé d'une cavité qui reçoit un creuset de charbon placé sur une couche de magnésie. Les charbons entre lesquels on fera jaillir l'arc sont disposés horizontalement; ils ont environ 3 centimètres de diamètre.

On place dans le creuset brasqué environ 200 grammes d'argent mélangé de poussière de charbon de sucre. On fait jaillir l'arc, le métal fond et entre en ébullition en atteignant une température de plus de 3000°, les vapeurs d'argent se dégagent sous la forme d'une fumée verte très dense. L'expérience dure 5 à 6 minutes, il se vaporise près de 20 grammes de métal. On arrête le courant et on projette rapidement le creuset et son contenu dans un vase plein d'eau froide. Le métal se solidifie d'abord superficiellement; la partie interne, en se solidifiant ensuite, augmente de volume; c'est un fait connu, et cet accroissement de volume gêné par la couche déjà solide détermine dans la masse une augmentation considérable de pression. Le carbone dissous, qui reprend l'état solide, se forme donc sous pression.

Si on vient ensuite dissoudre le culot d'argent dans l'acide nitrique, il reste des grains arrondis de carbone noir d'une grande dureté, très dense; c'est du diamant noir, du *carbonado* (fig. 1), mais si on répète la même expérience avec de la fonte, en reprenant le culot par l'acide chlorhydrique, l'eau régale, les mélanges oxydants qui attaquent le graphite et l'acide fluorhydrique, on obtient alors de petits cristaux, microscopiques il est vrai, et en très petites quantités jusqu'ici, mais très nettement cristallisés (fig. 2), très durs, rayant le saphir, d'une densité de 3 à 3,5 et dont la combustion dans l'oxygène a donné de l'acide carbonique pur. On a donc bien affaire à du diamant. Une chose assez curieuse, c'est qu'on distingue dans quelques cristaux des inclusions semblables à celles que l'on rencontre dans les diamants naturels.

C'est, comme on l'a vu, l'emploi du four électrique qui a permis d'atteindre la haute température nécessaire à ces expériences.

On sait que M. Violle a récemment déterminé la température de l'arc électrique, qui est constante et égale à 3500°. C'est donc à cette température maxima, quel que soit le nombre de watts, que l'on portera les corps placés dans l'arc électrique dans les fours que l'on emploie déjà dans les laboratoires et l'industrie.

Le four dont s'est servi M. Moissan recevait le courant d'une dynamo actionnée par un moteur de 50 chevaux. On disposait de 450 ampères et 70 volts. Avant les expériences de cristallisation du carbone, M. Moissan avait pu réaliser dans l'arc avec des temps et des intensités variables la fusion de la chaux, de la baryte, de la strontiane, de la magnésie, de l'alumine, qui cristallisaient par refroidissement. La réduction des oxydes par le charbon lui avait permis de préparer en grand certains métaux rares; la publication prochaine de l'ensemble de ses recherches nous permettra de revenir sur ces curieuses réactions électrothermiques. Nous laisserons de côté ce sujet, et pour compléter ce que nous avions déjà dit dans ce journal sur les fours électriques, nous décrirons maintenant quelques dispositions spéciales des creusets de laboratoire. Celui de M. Moissan consiste en deux briques de chaux vive, bien dressées à la lime et appliquées l'une sur l'autre. La brique inférieure porte deux rainures qui recevront les deux charbons, et au milieu se trouve une petite cavité servant de creuset. C'est dans cette cavité que l'on place les matières à fondre. Une ouverture cylindrique ménagée au milieu de la brique supérieure permet de laisser tomber de temps en temps de nouvelles quantités de matières à fondre (fig. 3).

On peut substituer à la chaux, la magnésie agglomérée à la presse hydraulique.

M. Ducretet, qui depuis quelque temps s'occupe du matériel électrothermique, a heureusement modifié ses fours électriques [1].

Le premier modèle construit était vertical; le creuset était constitué par un bloc de charbon qui servait en même temps, pour l'arc, de

Fig. 1. — Diamants noirs artificiels. G = 200.

charbon inférieur; le charbon supérieur était mobile; le tout était renfermé dans une enveloppe réfractaire formant chambre hermétique avec ouvertures pour l'introduction des gaz utiles à l'expérience; ces ouvertures servaient en même temps pour le dégagement des gaz produits par les réactions chimiques. Une ouverture latérale permettait l'introduction, dans l'arc même, des matières soumises à son action.

L'inconvénient de ce système est que, si l'on

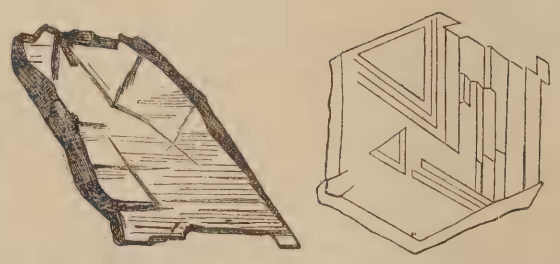


Fig. 2. — Cristaux artificiels de carbone diamant. G = 500.

interrompt le courant un certain temps, la matière en fusion se solidifie; il devient impossible, par suite, de ramener le charbon supérieur en contact avec le creuset de charbon, et l'arc ne peut plus jaillir. L'expérience se trouve alors forcément terminée.

Ces inconvénients n'existent plus dans le modèle définitif représenté figure 4.

Le creuset, en matière très réfractaire, magnésie ou chaux, est constitué, comme dans le premier modèle, par un bloc que l'on peut enlever et remettre à volonté à l'intérieur de son enveloppe réfractaire R. Les deux charbons C C' inclinés à environ 90° l'un de l'autre peuvent être animés d'un mouvement permettant de les amener au contact ou de les écarter.

L'ensemble de l'appareil est enfermé dans une monture métallique M M' dont les faces avant et arrière sont fermées par des lames de mica avec joints en carton d'amiante. Ces lames, que l'on peut enlever à volonté, permettent d'observer les réactions intérieures et d'en faire l'analyse spectrale et la projection sur un écran. Des verres de couleur peuvent être interposés.

On obtient ainsi en Ch une chambre complètement fermée dans laquelle les réactions se produisent, soustraites au contact de l'air, et en présence de gaz choisis. Les ouvertures O O'

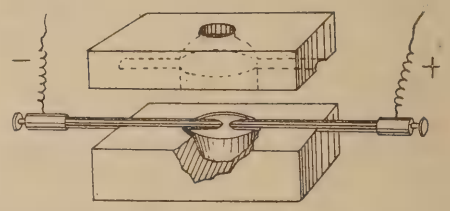


Fig. 3. — Four électrique employé par M. Moissan.

servent, comme dans le premier modèle, à la circulation des gaz; celle Bo à l'introduction des matières soumises à l'action électrothermique. Le courant entre en A et sort en B. Le socle est en ardoise. A titre de renseignement nous pouvons dire qu'un courant de 12 ampères et 35 volts suffit pour obtenir la fusion de l'alumine, la production de petits rubis et celle des bronzes d'aluminium par les procédés Cowles.

Comme nous l'avons dit, les matières que l'on veut réduire sont introduites par l'ouverture Bo, elles traversent l'arc et tombent au fond de la cavité du creuset C R, échappant ainsi à une action prolongée de cet arc. Une disposition bien simple et très ingénieuse permet d'éviter cet inconvénient. Il suffit de placer l'appareil *entre les branches d'un petit aimant* en fer à cheval d'environ 2 kilogrammes. Cet aimant agit sur l'arc en décuplant sa longueur et en le transformant en un véritable *chalumeau électrique* que l'on peut diriger à volonté en déplaçant convenablement l'aimant. Les matières qui se trouvent au fond de C R peuvent ainsi

[1] *La Lumière Électrique*, 10 décembre 1892.

être soumises à une action continue de l'arc électrique sans pouvoir s'opposer à son jaillissement.

C'est une application nouvelle du phénomène connu, découvert par Faraday et déjà utilisé par Jamin dans sa lampe électrique.

Cette disposition particulière, due à M. Ducretet, sera précieuse pour mieux utiliser la chaleur de l'arc dans les creusets électriques.

Aussi, ces creusets électriques de laboratoire permettront aux physiciens, chimistes et métallurgistes tous les essais électrothermiques et

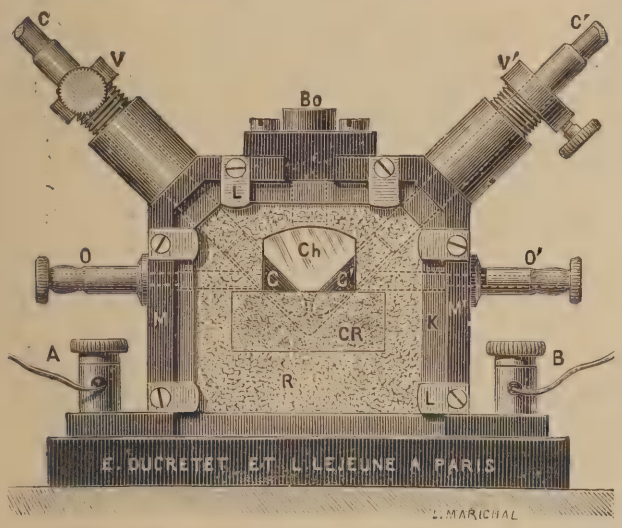


Fig. 4. — Creuset électrique Ducretet.

les fusions, en vase clos s'il est nécessaire, à hautes températures.

M. Moissan a montré le parti qu'on peut tirer des réactions électrothermiques (*Comptes rendus* de l'Académie des sciences, décembre 1892, février 1893) [1]; il y a encore beaucoup à faire dans cet ordre d'idées, et comme nous l'avons déjà fait remarquer, la série des réactions chimiques faites dans l'arc, qui a commencé par la synthèse de l'acétylène, va maintenant s'enrichir de nouveaux faits; la cristallisation du carbone restera une découverte brillante et bruyante, car elle intéresse à la fois les savants et le grand public, et sitôt connue la presse tout entière l'a vulgarisée pour la plus grande gloire du savant qui avait déjà isolé le fluor par l'électricité.

A. Rigaut.

[1] *La Lumière Électrique*, t. XLVI, p. 648.

LES TURBINES ÉLECTRIQUES

Les moteurs hydrauliques présentent de notables avantages sur les machines à vapeur employées dans l'industrie, et chaque fois que l'on dispose d'un volume d'eau suffisant, sous une pression assez élevée, il est préférable à tous points de vue d'installer un appareil à eau plutôt qu'une chaudière à vapeur. C'est, d'ailleurs, ce qu'on commence à reconnaître, en Angleterre notamment, et ce qui explique l'extension prise par l'emploi et les applications des forces hydrauliques naturelles.

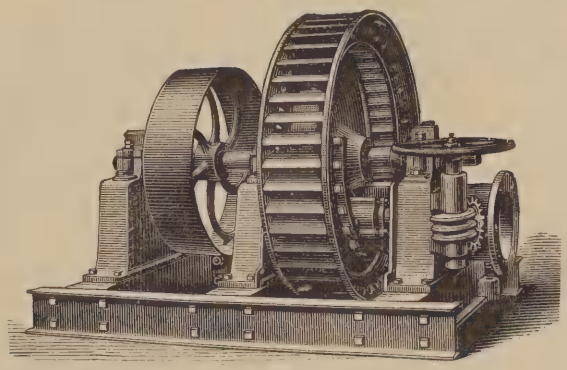


Fig. 1.

La forme turbine est celle qui a été préférée après examen, et une importante usine d'Oldham construit actuellement de nombreux modèles se rapprochant des types inventés en France par les ingénieurs Jonval et Girard, et applicables à presque tous les besoins de l'industrie moderne. Parmi les applications de la turbine, nous citerons particulièrement la production de l'électricité pour l'éclairage et le transport de la force à distance.

Dans ce cas, les constructeurs se sont efforcés de constituer un groupe électrogène compact, en associant la dynamo et le moteur sur le même socle, et ils ont obtenu des résultats satisfaisants au point de vue de l'économie et du rendement de cet ensemble.

La turbine est disposée pour tourner verticalement et la roue à aubes se trouve enfermée à l'intérieur d'une caisse cylindrique en tôle. Son mouvement est d'une extrême régularité, supérieur même à celui des meilleurs moteurs à gaz, et sa vitesse en rapport avec la pression et le volume

de l'eau pénétrant dans la couronne. La dynamo, qui peut être d'un système quelconque, est accouplée directement avec l'arbre de la turbine à l'aide d'un manchon rigide, système très apprécié en Angleterre. Il existe différents numéros, correspondant à des diamètres plus ou moins grands, de la roue à aubes, et, par suite, à la puissance motrice développée par unité de temps.

Ce groupe électrogène (fig. 2), édifié par les *Central Engineering Works* de W. Günther, d'Oldham, représentés en France par M. A.-H. Croizier, commence à se répandre dans les manufactures situées au bord des rivières et dans les cottages et maisons de plaisance disposant d'eau sous une certaine pression, et de nombreux témoignages viennent confirmer l'excellence de ce mode d'emploi de la force hydraulique. On a également tenté de transmettre au loin cette puissance ainsi transformée en électricité, et les rendements obtenus permettent de croire à l'avenir de cette application.

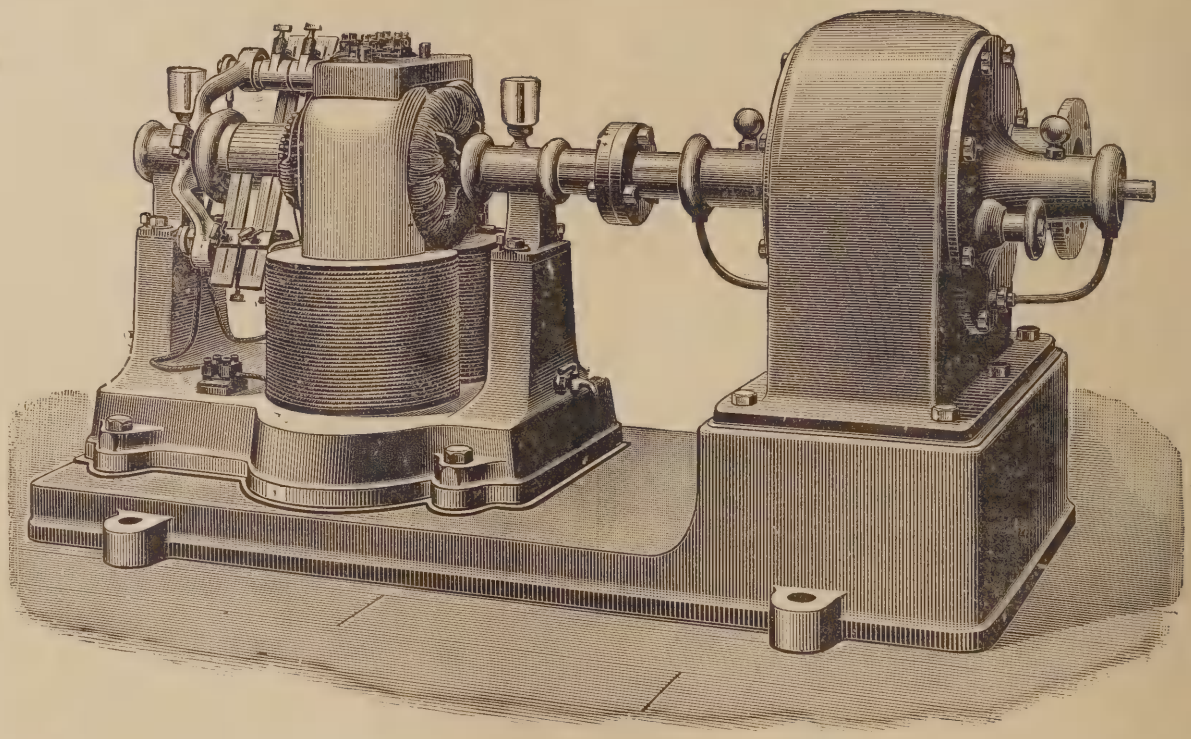


Fig. 2.

Un système analogue vient d'être breveté, d'autre part, par l'ingénieur Pitman, de Manchester. Ce moteur s'appelle le *Demon* et lui aussi est associé par accouplement direct avec une dynamo Crompton, de façon à constituer un ensemble électrogène compact et robuste. Comme dans le système Günther à turbine Girard, l'eau agit directement sur le tambour mobile et les forces varient, suivant la pression et le volume de l'eau, de un sixième de cheval à vingt chevaux (fig. 1).

Ces turbines fonctionnent sans bruit, et la température de l'eau s'opposant à tout échauffement des pièces mobiles, quelle que soit la vitesse, le graissage est réduit à son minimum. De plus, ce dispositif de génération de l'électricité par l'eau offre l'avantage considérable de donner une sécurité absolue aux particuliers qui l'utilisent, au point de vue des dangers d'incendie et des responsabilités envers les compagnies d'assurances.

Ces petites usines électrogènes commencent à être très appréciées par l'industrie électrique, mais il est à remarquer qu'elles constituent une application d'une invention française : la turbine Girard, connue depuis plus de trente ans et

utilisée comme moteur dans de nombreux moulins et ateliers établis sur les cours d'eau du midi de la France.

H. DE GRAFFIGNY.

CHRONIQUE ET REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

Téléphone Groper (1892).

Ce téléphone est à deux diaphragmes, l'un en mica *a*, de 0,04 mm. d'épaisseur, extrêmement sensible, et l'autre *b*, en carbone, séparé du premier par une couche d'air, et sur lequel ap-

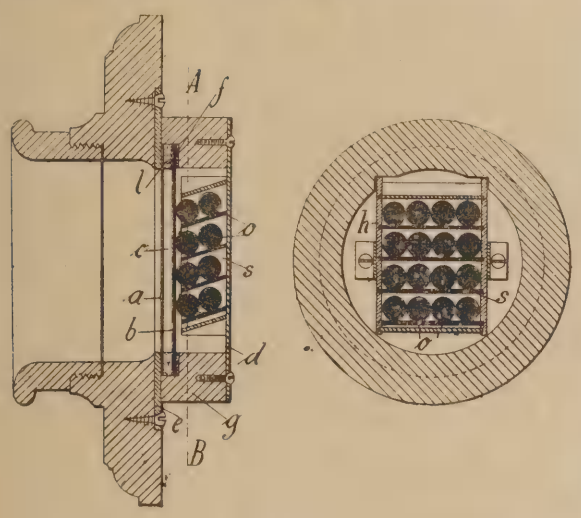


Fig. 1 et 2.

puient les billes de carbone *o*, maintenues par les auvents *s* de la boîte *h*. Ces billes, traversées par le courant suivant *b o h* et la plaque métallique *d*, constituent un contact microphonique très sensible.

G. R.

Turbo-moteur Laval (1891).

La vapeur est amenée aux aubes C E de la turbine, par un ajutage divergent A B, puis elle s'échappe d'entre les aubes par un second divergent F, situé dans le même plan horizontal que le premier, et à profil d'éjecteur I K, calculé de manière que l'échappement de la vapeur par ce divergent produise dans la chambre D de la turbine un certain vide. Ce vide, diminuant le frottement de la turbine sur la vapeur environ-

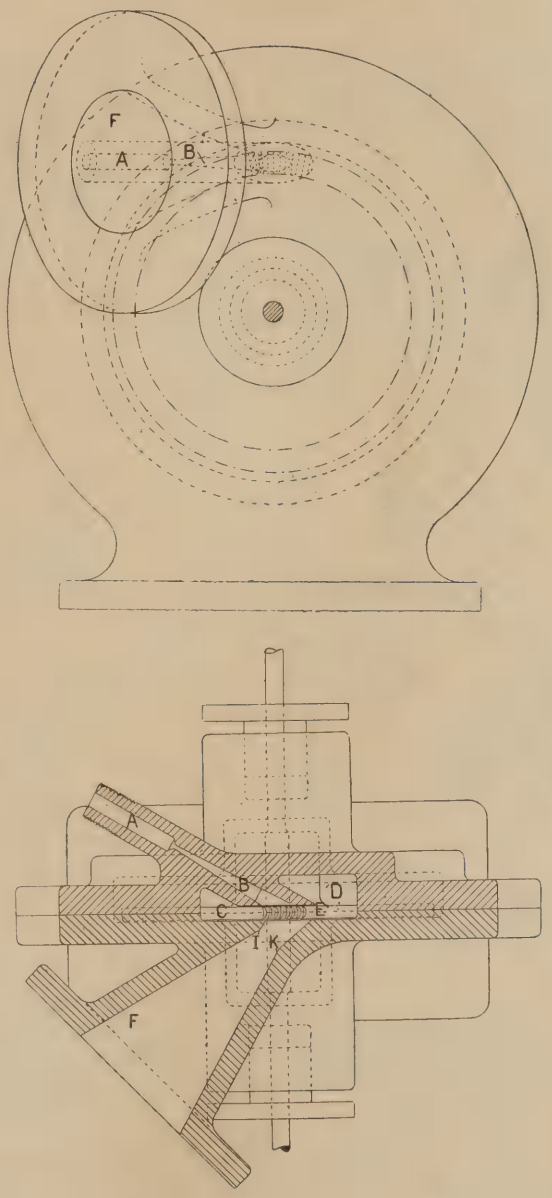


Fig. 1 et 2.

nante et augmentant la pression effective et la détente utilisable de la vapeur, accroîtrait, d'après l'inventeur, considérablement le rendement de l'appareil, plus même que par l'emploi d'un condenseur.

G. R.

Fabrication électrolytique des tubes, procédé Picard et Tanière (1892).

Au lieu de soumettre le dépôt tubulaire de cuivre C C à un brunissage comme dans le procédé Elmore, MM. Picard et Tanière le soumettent à un martelage au moyen de marteaux *e*, promenés le long des tubes, et actionnés, au moyen d'une transmission à rappel de ressorts facile à suivre sur la figure 1, par un électro-

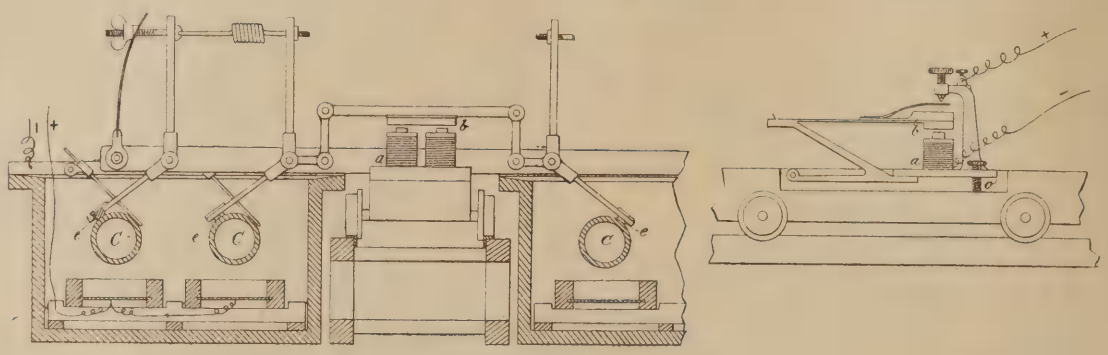


Fig. 1 et 2.

aimant trembleur *a'*, qui fait vibrer l'armature *b* d'une amplitude réglée par la vis *o* (fig. 2).

G. R.

Tableau téléphonique multiple Scribner (Western Electric C°) (1892).

Ce tableau suppose l'emploi des annonciateurs polarisés représentés par les figures 1 à 3. Chacun de ces annonciateurs se compose de deux électro-aimants *a* et *b*, opposés par

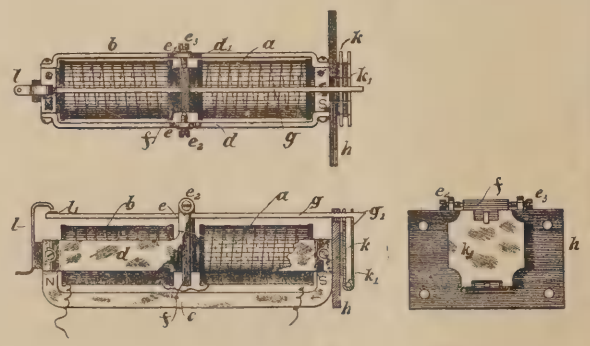


Fig. 1 à 3.

leurs pôles de noms contraires, et réunis par une barre d'acier *c*, polarisée de façon à donner aux noyaux des aimants *a* et *b* une polarité constante dans un certain sens, en même temps qu'elle complète leur circuit magnétique. L'armature *f* suspendue, en effleurant presque le barreau, aux pivots e^2 e^3 des flasques de bronze *d d*, commande le balancier *g*, qui relie d'une part, en *g'*, le voyant *k'* de l'annonciateur *k h*, et à sa course limitée, d'autre part, au moyen du contact en caoutchouc *l l'*. Cette barre lâche l'annonciateur quand l'armature est attirée de gauche à droite et le maintient fermé comme en figure 2 quand elle est attirée de droite à gauche.

Chaque poste comprend, comme à l'ordinaire, une génératrice magnéto-électrique *m* (fig. 4) à courants alternatifs, une sonnerie *m'*, un téléphone récepteur m^2, un transmetteur m^3, de chaque côté du crochet m_4, le tout relié à la ligne *n n'* comme l'indique la figure 4.

Le fil *n* aboutit par *o o* aux deux spring-jacks *p* et *p'* des deux sections *q* et *q'* du tableau, dont l'une, *q'*, comprend l'annonciateur *r*, à bobines polarisées *a* et *b*, reliées aussi à *n*; l'extrémité *l* du balancier de l'annonciateur fait contact en *l l* avec l'autre conducteur de ligne *n'*.

Les spring-jacks de chacune des sections du tableau sont reliés comme l'indique la figure 4, par les fils de jonction *t* et *t'* avec clefs d'appel *u* et *u'*, permettant de séparer les ressorts des jacks et de les relier aux pôles *v* et *v'* d'une magnéto d'appel v_2. Les clefs d'écoute *w w* ont leurs ressorts reliés aux fils de jonction *t* et *t'* et leurs contacts *r* aux téléphones du tableau *w w'*.

Pour communiquer avec un second abonné relié à ce tableau, le premier, ou l'appelant, tourne sa dynamo *m*, après avoir abaissé son crochet m_4, ce qui fait tomber l'annonciateur *r* du tableau *q'*, dont l'opérateur insère alors la fiche *s* dans le spring *p'*, et relève l'annonciateur.

Le courant de la pile passe alors, par $t s p' o$, à l'annonciateur, dont il fait attirer l'armature par b, de manière à maintenir son volet fermé et son balancier appuyé sur le contact l', de manière à relier par ce balancier le conducteur n' à l'anneau d'épreuve o' du spring-jack p'. L'opérateur presse alors sa clef d'écoute w de manière à relier son téléphone w' au poste 1 par le circuit ($n o p' s t w w' l' u s o' g l l' n'$).

Après avoir reçu de l'abonné n° 1 l'ordre de communiquer par exemple avec l'abonné n° 2, l'opérateur commence par vérifier si la ligne allant à cet abonné est libre. Pour cela, il place le bouton du spring s' sur son anneau d'épreuve, comme on l'a indiqué pour s_2. Si la ligne est libre, l'opérateur ne reçoit pas de réponse de l'abonné 2 à son téléphone w', parce que les bagues d'épreuve ne sont alors reliées à aucun autre circuit que celui de w'; mais si, au contraire, cette ligne est occupée, la pile z du téléphone w', envoie par $t s_2$ et le spring enfourché sur la ligne prise, son courant à l'annonciateur de l'abonné 2, dont l'armature frappe un coup et fait entendre ce bruit au téléphone w' chaque fois que l'on touche la bague d'épreuve.

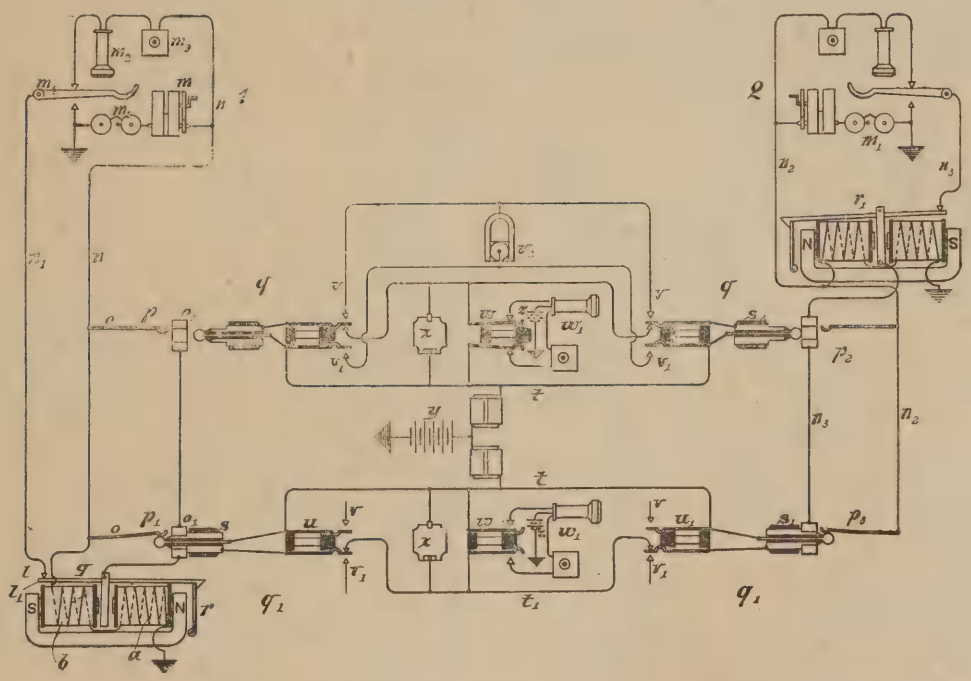


Fig. 4.

Si l'opérateur q' trouve ainsi la ligne 2 libre, il insère la fiche s' en p^3, de manière à relier la pile y à l'annonciateur r' de cette ligne, qui en ferme le circuit en n^3.

Les deux postes 1 et 2 sont alors reliés par ($s t l' s'$); l'opérateur presse la clef d'appel u', qui fait partir, comme nous l'avons expliqué pour le poste 1, la sonnerie m' du poste 2, puis, ayant vérifié la mise en communication des postes 1 et 2, l'opérateur lâche la clef w, de manière à séparer son téléphone du circuit, et à laisser les abonnés causer librement.

A la fin de la communication, l'un des abonnés, 1 par exemple, envoie par m, après avoir accroché son téléphone en m^4, un signal à l'avertisseur de fin de communication x.

G. R.

Boîte de canalisation Hart (1892).

Les câbles C pénètrent dans les boîtes de distribution par des ouvertures latérales, avec écrous de serrage C' et garnitures en ciment coulé entre les parois latérales de la boîte et les panneaux en deux parties D. A l'intérieur des

boîtes, les câbles sont enveloppés d'une gaine en deux parties serrées par des pinces x' x', et avec couvre-joints x, appuyée sur une traverse

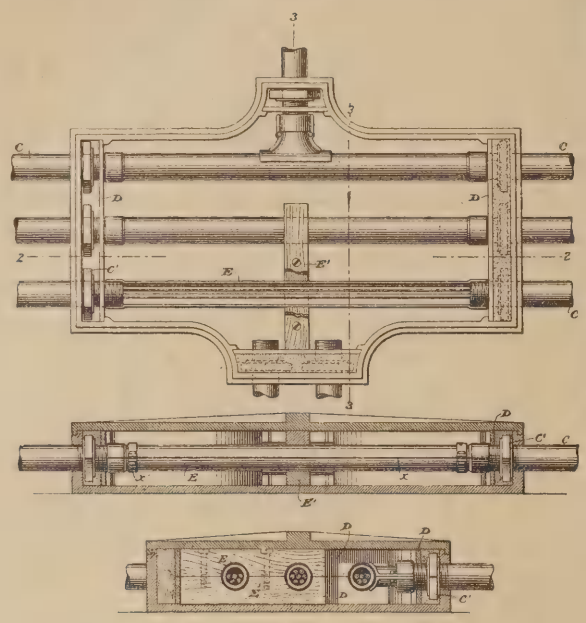


Fig. 1. — Boîte de canalisation Hart. Plan. Coupes 2 2 et 3 3

E', disposition qui rend très faciles l'accès des câbles et la pose des connexions.

G. R.

La production et la distribution de l'énergie par stations centrales, par M. Cawthorne Unwin (1).

De nos jours, on peut constater une tendance à donner trop d'importance à l'électricité, qui est pourtant encore, à la fin du compte, sous la dépendance des chaudières et des machines motrices. Cette proéminence de l'électricité laisse dans l'ombre d'autres méthodes précieuses pour la distribution de l'énergie. Le succès scientifique de l'expérience Lauffen-Francfort ne doit pas faire oublier que cette expérience n'était pas tentée au point de vue financier, le cheval-heure délivré à Francfort ayant coûté cinq fois plus que s'il avait été produit sur les lieux mêmes de la façon ordinaire. La transmission à très grande distance ne semble pas devoir être souvent utile.

L'origine des stations génératrices d'énergie est dans les avantages qu'il y a à centraliser la production et à distribuer le produit aux consommateurs individuels. Une autre raison pour l'établissement de stations centrales réside dans les considérations suivantes : la population tend à se rassembler dans d'énormes agglomérations, où les rapports très complexes de la vie industrielle et sociale créent des besoins de plus en plus grands d'énergie mécanique pour le transport, pour les besoins hygiéniques et pour différentes industries petites et grandes. Au début, on avait répondu à ce besoin par l'installation de moteurs indépendants dispersés un peu partout, mais cette méthode est très peu économique; cela est surtout vrai dans le cas des petits moteurs et de ceux soumis à un fonctionnement intermittent. Vint ensuite la question de savoir si, en produisant l'énergie sous une forme facilement transportable, la perte ne pouvait pas être évitée. Il s'agissait d'examiner si l'économie due à la concentration des moyens de production payerait le coût de la distribution. On pensa que, comme dans les grandes villes il est devenu nécessaire de remplacer l'alimentation d'eau privée par un système d'alimentation en commun, et que comme on avait trouvé plus avantageux de créer un système municipal de drainage, il serait également nécessaire de pourvoir les villes de seconde importance des moyens de produire l'énergie mécanique en grandes quantités et à un prix proportionnel à la quantité utilisée. Cela ouvrit un vaste champ d'expériences aux ingénieurs et donna lieu à des développements intéressants.

Uniquement pour l'actionnement de machines, on a trouvé économique et rémunératif, malgré les frais énormes qu'entraîne la pose de canalisations dans les rues de Londres, d'exécuter un système de distribution d'énergie au moyen d'une centaine de kilomètres de tuyaux hydrauliques. Jusqu'en 1883, il n'existait aucun système de distribution d'énergie mécanique. En 1888, la London Hydraulic Company fournissait de la force motrice à 96 consommateurs ; quatre ans plus tard, en décembre 1892, il y avait 1676 consommateurs, et la quantité d'eau consommée avait augmenté jusqu'à 27 millions de litres journellement.

A première vue, il ne semble pas que la ville de Genève, avec ses 50,000 habitants, puisse être un centre favorable pour un grand système de distribution de force motrice; pourtant on trouve

(1) Extrait d'une conférence devant la Society of Arts.

à Genève le plus grand exemple de la production de la force motrice dans une station centrale et de sa vente en détail comme une marchandise ordinaire. En 1871, M. Turrettini demande au Conseil municipal la permission de placer sur la canalisation de la ville un petit moteur pour actionner la fabrique de la Société génevoise pour la fabrication d'instruments de physique. En prévision des bons résultats que lui fournirait cette méthode, il s'assura en même temps le droit d'installer de petits moteurs dans d'autres parties de la ville. Neuf années plus tard, c'est-à-dire en 1880, on comptait 111 moteurs hydrauliques alimentés par la canalisation de la ville, qui était à basse pression, usant près d'un million de mètres cubes d'eau par an et payant à la municipalité une redevance de 50 000 francs.

Le prix de l'eau n'était pas faible ; on prenait de 30 à 40 centimes par cheval-heure, ou 1150 à 1200 francs par an. Mais même ce prix élevé ne put empêcher l'emploi général d'une force motrice aussi commode. Depuis lors, on a établi un système de distribution à haute pression et l'énergie est maintenant vendue meilleur marché. Le prix est d'environ 7 centimes par cheval-heure, ou 200 francs par cheval et par an. En 1889, les recettes provenant de l'eau vendue aux fabriques sur le système à basse pression étaient de 50210 francs, et sur le système à haute pression de 112 500 francs. Sur ce dernier système, les recettes augmentent chaque année d'environ 21 000 francs.

Passons maintenant en revue diverses sources d'énergie mécanique. La force du vent est utilisée pour actionner des moulins et faire marcher des bateaux, mais l'intermittence du vent restreint son emploi à des cas particuliers. Considérées pratiquement, il n'y a que trois sources d'énergie mécanique : la force musculaire des animaux, l'action de la pesanteur sur l'eau tombant d'un niveau à un niveau inférieur, et la chaleur obtenue par la combustion de la houille et d'autres combustibles.

La houille est encore la source d'énergie la plus importante. Elle est facilement transportable, mais son emploi est accompagné de divers inconvénients. Le combustible solide est brûlé dans un fourneau ouvert ; il en résulte que 20 à 30 o/o de la chaleur produite par la combustion s'échappe par la cheminée. Ensuite, le seul moyen pratique actuel pour utiliser cette combustion est la production de la vapeur d'eau. Or, on trouve un inconvénient fondamental dans la transformation de la chaleur en énergie mécanique au moyen d'une machine à vapeur dans le fait que trois dixièmes au plus de l'énergie totale peuvent être transformés en énergie mécanique. Puis, la surveillance qu'exige un fourneau ouvert, et la difficulté d'éviter la fumée et de se débarrasser des cendres sont autant d'inconvénients.

Nous avons ensuite les combustibles gazeux et des machines chauffées intérieurement et travaillant entre des limites de température beaucoup plus étendues que les machines à vapeur. Elles ont déjà fourni un rendement thermique double de celui des machines à vapeur de grandes dimensions et de bonne construction. D'un autre côté, le gaz d'éclairage est plus coûteux qu'un bon gaz calorifique. Le prix de vente du gaz d'éclairage se trouve élevé pour deux raisons : la nécessité d'une installation excessivement étendue pour pouvoir répondre aux énormes fluctuations dans la consommation de lumière, puis les grands frais de distribution, conséquence du grand nombre de petits consommateurs.

Mais l'auteur pense que l'on pourrait se servir d'autres gaz de moindre pouvoir éclairant qui pourraient être produits et distribués à un prix inférieur de moitié à celui du gaz de Londres et qui, employés dans un moteur à gaz, pourraient lutter avantageusement avec la houille et la machine à vapeur. Sir William Siemens préconise l'emploi d'un gaz bon marché comme source d'énergie, et récemment M. Thwaite a proposé d'envoyer un gaz de faible pouvoir éclairant par les canalisations de la Compagnie de l'air comprimé de Birmingham. Des mesures ont montré qu'un moteur à gaz donne un cheval effectif au même prix que la machine à vapeur. Il y a à Londres 2500 moteurs à gaz en fonctionnement, et il est difficile de prévoir si ces moteurs ne remplaceront pas peu à peu les machines à vapeur. Ils possèdent quelques désavantages, car ils travaillent peu économiquement à faible charge.

Le professeur Forbes a appelé l'attention sur la production de l'énergie en employant comme combustible les ordures des villes. La combustion de ces ordures est, en effet, la façon la moins

coûteuse de s'en débarrasser. Voilà donc un combustible qui ne coûte rien, si ce n'est l'installation des machines destinées à l'utiliser. On a employé toutes espèces d'appareils destructeurs; dans tous, les produits de combustion s'échappent à une très haute température et la chaleur qu'ils entraînent pourrait être mise à profit. M. Watson a fait à ce sujet une communication intéressante à la dernière réunion de l'Association britannique. Il a montré que les ordures ménagères avaient un pouvoir calorifique d'environ 24 o/o de celui du charbon. En prenant un destructeur brûlant six tonnes par jour, ou environ 250 kilogrammes par heure, on obtiendrait, en utilisant la chaleur pour produire de la vapeur, environ 500 kilogrammes de vapeur par heure. C'est l'équivalent de 50 chevaux.

En s'occupant de la force motrice fournie par les machines à vapeur, soit dans des stations centrales, soit dans des installations isolées, il est tout d'abord nécessaire de se rendre compte des causes des pertes de chaleur. Dans des moteurs actionnés par la vapeur, on peut transformer en énergie mécanique les trois huitièmes de la chaleur, tandis qu'un moteur à gaz permet d'utiliser la moitié de la chaleur. La cause principale de perte est la même dans les deux cas; elle est due à la grande conductibilité calorifique de l'enveloppe métallique qui contient le fluide. Cette perte augmente avec le rapport de la surface d'admission du cylindre au poids de vapeur employé. Dans la machine à vapeur, la perte due à la condensation initiale doit donc augmenter aux faibles charges, puisqu'une plus grande surface est alors exposée par kilogramme de vapeur employée. L'inconvénient peut être atténué, mais non supprimé complètement, par l'emploi de doubles enveloppes de vapeur. Dans les moteurs à gaz, il est nécessaire, pour éviter la détérioration du cylindre, de le refroidir par une circulation d'eau. M. A. Witz a montré que c'est par suite de l'action réfrigérente de la paroi du cylindre qu'une partie du gaz est maintenue au-dessous de la température de combustion. La paroi du cylindre diminue donc le rendement de la machine en empêchant le plein développement de la pression du gaz au début de la course, et en soustrayant directement de la chaleur avant la fin de la course. L'inconvénient est d'autant plus grand que la surface exposée au gaz au moment de l'explosion est plus grande, et c'est pour cette raison que l'on a recours à une compression préalable du gaz.

Une méthode curieuse pour économiser la chaleur dans les machines à vapeur a été proposée. Dans une station centrale de Dresde, on propose de produire la partie la plus considérable de la force motrice par des machines à vapeur; mais on aurait aussi des moteurs à gaz qui fonctionneraient pendant les heures de faible consommation. Les gaz d'échauffement des moteurs à gaz serviraient à surchauffer la vapeur. En ce qui concerne l'économie, il est certain que cette méthode donnerait de bons résultats.

Dans les grandes stations centrales d'éclairage électrique, la consommation de combustible est si considérable que des ingénieurs très compétents ont douté de l'exactitude des chiffres, oubliant que leur opinion était basée sur les essais faits à pleine charge. Cette consommation excessive provient presque en entier de l'irrégularité du travail des chaudières, qui, pour être maintenues constamment sous pression, dépensent de la chaleur même au repos.

Il faut aussi appeler l'attention sur un fait trop souvent inobservé. Les mécaniciens ont l'habitude de rapporter la consommation de vapeur et de combustible au cheval indiqué et non au cheval effectif mesuré au frein. Cette circonstance est due à la difficulté que présente, dans la plupart des cas, la détermination de la puissance au frein. Comme le frottement dans les machines est relativement faible dans les essais à pleine charge, on a admis tacitement que cette quantité n'avait pas d'importance. Or, l'ingénieur électricien ayant des moyens très exacts pour déterminer la puissance effective appliquée à ses dynamos évalue l'efficacité de ses machines à vapeur d'après la puissance au frein. La première explication des nombres un peu forts que l'on trouve pour la consommation des machines travaillant à charge très variable est que, réellement, leur rendement mécanique est moindre qu'on ne le suppose généralement. Ce rendement est probablement, à pleine charge, de 0,8 à 0,85 pour de petites machines, et peut atteindre 0,9 pour les grandes machines. Il en est autrement dans la marche à faible charge. Un grand nombre de récentes expériences ont montré que le frottement ne varie que très peu avec la charge. Donc, si à pleine charge une machine fonctionne avec 100 chevaux indiqués et 85 che-

vaux effectifs, elle ne fournit avec 50 chevaux indiqués que 35 chevaux effectifs et son rendement n'est que de 0,7 ; avec 25 chevaux indiqués la puissance effective ne serait que de 10 chevaux et le rendement tomberait à 0,4.

Un autre point à considérer est la quantité de vapeur condensée à l'intérieur de la machine. M. Willans a mesuré cette quantité pour ses machines spéciales. Le professeur Cotterill a pu calculer la même quantité pour une classe de machines assez répandue, celle des machines sans double enveloppe. L'auteur a généralisé ce calcul et il a trouvé que la consommation de vapeur est beaucoup plus faible lorsque la machine est réglée par expansion variable que lorsqu'on la règle en faisant varier la pression de la vapeur d'admission. L'influence des frottements mécaniques et celle de la contre-pression contribuent donc à diminuer le rendement quand la machine fonctionne à faible charge.

La nécessité de maintenir les chaudières sous pression et les pertes qu'entraîne cette circonstance obligent les électriciens à recourir aux moyens d'emmagasinement de l'énergie. L'usine à gaz, qui distribue aussi de l'énergie, est aussi soumise à des conditions de débit très variables ; mais elle peut avoir recours aux gazomètres, qui lui permettent ordinairement d'emmagasiner assez d'énergie pour suffire à la consommation pendant vingt-quatre heures, et la production du gaz peut donc s'opérer d'une façon régulière et continue. Si l'on admet une consommation de 0,7 mètre cube de gaz par cheval-heure, le coût du gazomètre est de 7 francs par cheval-heure emmagasiné.

L'éclairage électrique demanderait un système d'emmagasinement analogue, et l'on avait cru pendant un certain temps que la pile secondaire était une solution. Mais l'emploi de la pile secondaire est limité aux systèmes à courant continu et à basse tension et présente en outre deux inconvénients sérieux. D'abord le régime de décharge est limité, tandis que celui d'un réservoir à gaz est illimité ; ensuite, la pile ne rend que les quatre cinquièmes de l'énergie qu'on lui a fournie, tandis que le réservoir à gaz rend tout. D'après des chiffres fournis par M. Ayrton, il résulte qu'avec les accumulateurs, le coût le plus faible de l'emmagasinement est de 140 francs par cheval-heure, tandis qu'il n'est que de 7 francs avec les réservoirs à gaz.

La pile secondaire ne présentant pas la solution cherchée, existe-t-il un autre moyen plus économique pour emmagasiner l'énergie? M. Druitt Halpin préconise une méthode qui, d'après l'auteur, pourrait jouer bientôt un rôle important. La forme sous laquelle on obtient l'énergie est la chaleur. Pour l'emmagasiner, il faut la communiquer à un support matériel quelconque. Il suffirait, à cet effet, de chauffer l'eau sous pression. Des réservoirs convenablement construits, ne présentant que la plus petite surface extérieure possible, ne perdraient que très peu de chaleur. En réduisant la pression, on obtiendrait alors de la vapeur en quantité bien déterminée et sous un débit bien réglé.

Examinons la question quantitativement.

M. Halpin propose d'employer dans les réservoirs de calorique une pression de 18 kilogrammes par centimètre carré, correspondant à une température de 209°. Les machines à vapeur seraient actionnées avec de la vapeur à 9 kilogrammes par centimètre carré, ou à 175°. Tant que la température dans les réservoirs serait supérieure à 175°, ils fourniraient automatiquement de la vapeur aux machines. 14,25 kilog. d'eau chaude donneraient 1 kilogramme de vapeur. Supposons, pour tenir compte du rayonnement et des fuites de vapeur, qu'il faille 16 kilogrammes d'eau surchauffée pour obtenir 1 kilogramme de vapeur. Un simple réservoir cylindrique, de 2,50 m. de diamètre et 9 mètres de longueur, c'est-à-dire une chaudière ordinaire, contiendrait 38 000 kilogrammes d'eau. Ce réservoir chauffé à 209° fournirait 2 1/2 tonnes de vapeur à 9 kilogrammes de pression. On peut admettre que dans les bonnes machines à condensation un cheval-heure est produit par 8 kilogrammes de vapeur, et dans les machines sans condensation par 11 kilogrammes ; un des réservoirs de M. Halpin pourrait donc emmagasiner suffisamment de chaleur pour fournir 286 chevaux-heures effectifs dans une machine à condensation et 210 chevaux-heures sans condensation.

En ce qui concerne le côté financier de la question, un de ces réservoirs installé avec tous ses accessoires coûterait 11 750 francs ; le coût de l'emmagasinement serait donc de 41 francs ou de 56 francs par cheval-heure effectif, selon que l'on emploierait des machines avec ou sans condensation. Donc, tandis que la méthode de M. Halpin serait moins économique que les ré-

servoirs à gaz, elle présenterait de nombreux avantages sur les accumulateurs électriques.

A. H.

Servo-frein électrique Picou (1892).

Le servo-frein électrique est un frein de sûreté automatique applicable aux organes commandés électriquement, comme les appareils de levage, de manœuvre, cabestans, plaques tournantes,

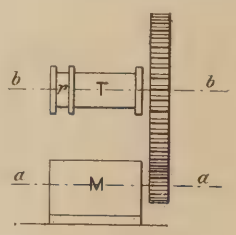


Fig. 1

appareils de pointage des canons et de manœuvre de tourelles, tramways électriques, etc.

Ce dispositif consiste en un frein à action électrique dont le jeu est rendu solidaire de celui commandant l'organe à mouvoir et de telle sorte que le freinage soit produit et réglé automatiquement par le fonctionnement même du moteur.

La disposition générale des appareils est la suivante :

Un frein quelconque est installé de façon à ce qu'il soit serré normalement et empêche de tourner tout le mécanisme relié au moteur. Le poids et le ressort qui le maintiennent serré sont solidaires d'un organe électromagnétique quelconque disposé de telle façon que le passage du courant ait pour effet de soulever le poids et de desserrer le ressort.

Pour réaliser l'asservissement du frein au moteur, il faut solidariser ceux-ci; pour cela on peut employer soit des moyens électriques soit des moyens mécaniques.

Les premiers sont susceptibles d'une grande simplicité. Le meilleur est de faire traverser l'organe électromagnétique du frein par le courant principal actionnant le moteur. L'asservissement est alors réalisé complètement, le courant étant réglé par un rhéostat; celui-ci étant ouvert tout est au repos et le frein est serré. A mesure qu'on envoie le courant, le frein se desserre graduellement, en même temps qu'un couple croissant graduellement se développe sur l'arbre du moteur.

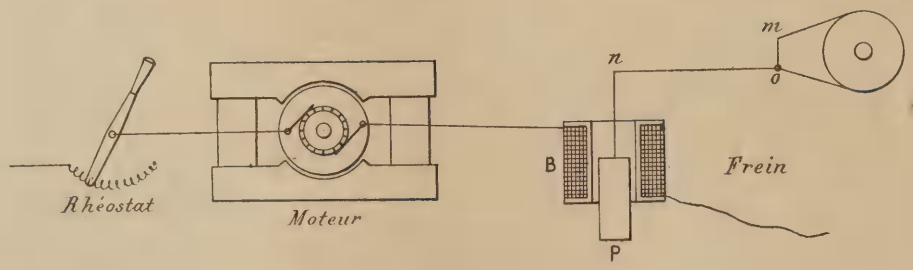


Fig. 2.

Le courant venant à manquer pour une raison quelconque, le frein se serre de suite automatiquement.

Pour asservir le frein mécaniquement, on peut par exemple exciter l'électro-aimant par un courant dérivé sur la canalisation principale, ce courant étant réglé par un rhéostat dont le levier de manœuvre est solidaire de celui du rhéostat du moteur.

Comme exemple d'application, nous avons représenté en figure 1 un appareil de levage.

a a est l'axe du moteur électrique M. Il porte un pignon qui attaque une roue calée sur l'arbre *b b*. Cet arbre porte le tambour T sur lequel s'enroule la chaîne de levage.

A l'extrémité de ce tambour est placé un frein à bande d'acier dans la rainure *r*. Cette bande est attachée comme d'habitude à un levier (fig. 2) *m*, *o*, *n* au point *m* et au point *o*, celui-ci étant l'axe d'oscillation du levier.

Une tige verticale supporte un poids P suffisant pour serrer le frein sous l'action de la plus forte charge. Ce poids a la forme d'un cylindre de fer doux.

Une bobine de fil de cuivre isolé entoure la partie supérieure du poids, de façon que lorsque le courant passe ce poids soit attiré et dégage par suite le frein. La figure 2 représente cette disposition dans le cas où le courant principal traverse la bobine.

Le dispositif permet l'emploi d'un frein de forme quelconque, sabots, cordes, etc., en faisant usage soit d'un électro-aimant comme on vient de le voir, soit encore d'un petit moteur enroulant une chaîne de traction autour de son axe.

F. G.

Poste téléphonique anglais (1).

Depuis l'expiration du brevet Bell en Angleterre, les chefs du service postal et télégraphique ont introduit dans l'usage un nouveau type de poste téléphonique.

Le microphone de Gower-Bell est conservé comme transmetteur; son diaphragme rectangulaire est maintenant sans embouchure; il a

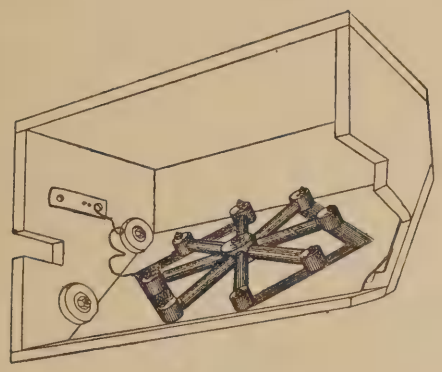


Fig. 1

environ 18 centimètres sur 10 et repose sur des supports en caoutchouc, comme l'indique la figure 1, qui le montre renversé. Les blocs de charbon dans lesquels s'engagent les crayons microphoniques sont attachés au diagramme par des boulons dont les têtes font saillie à la surface extérieure, de manière que celle-ci ne puisse servir de pupitre. D'après la figure 1, ce microphone rappellerait assez un ancien modèle français baptisé chez certains constructeurs du sobriquet jovial de « gâteau des rois ».

(1) D'après publication dans l'*Electrician* de Londres.

La bobine d'induction du poste a été modifiée. Depuis quelques années, les téléphones d'employés avaient été pourvus d'un bouton de mise en court circuit pour le circuit secondaire de la bobine; l'usage a fait reconnaître l'impraticabilité de ce dispositif, qui exige trop de tact et de précision de manœuvre; on se contente actuellement de limiter l'enroulement du circuit secondaire de la bobine à 150 ohms de résistance, l'enroulement primaire conservant 0,5 ohm de résistance.

La modification la plus sensible du nouveau poste téléphonique réside dans la substitution de deux récepteurs Bell indépendants au Gower-Bell, à tubes acoustiques; chacun des récepteurs nouveaux est d'un type bipolaire qui rappelle

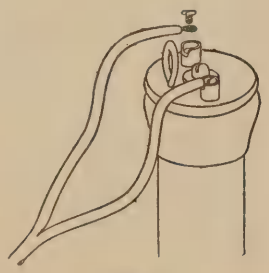


Fig. 2

le Siemens et Halske de Berlin; la résistance de chacun est de 120 ohms et les deux récepteurs sont couplés en parallèle « pour diminuer l'inertie électromagnétique et faciliter la décharge de la ligne ».

L'usage des attaches françaises avec le récepteur Bell est devenu général; le Post-Office les a modifiées d'une manière particulière (fig. 2), de façon à permettre l'emploi de cordons ordinaires sans bouts spéciaux; le fil dénudé s'engage dans une rainure circulaire de la tête de la borne, où une vis le maintient.

Les figures 3 et 4 montrent l'aspect et le diagramme des connexions intérieures du poste téléphonique, qui est muni de huit bornes donnant toutes facilités pour effectuer les liaisons extérieures nécessaires suivant les circonstances de l'emploi. Des plans de pose répondant aux divers cas sont mis à la disposition des ouvriers monteurs, et l'on trouve grand avantage à garder ainsi la généralité d'application de l'instrument.

On peut observer que le nouveau type anglais se rapproche sensiblement des types usités en

France, notamment pour la bobine d'induction; la divergence la plus importante est certaine-

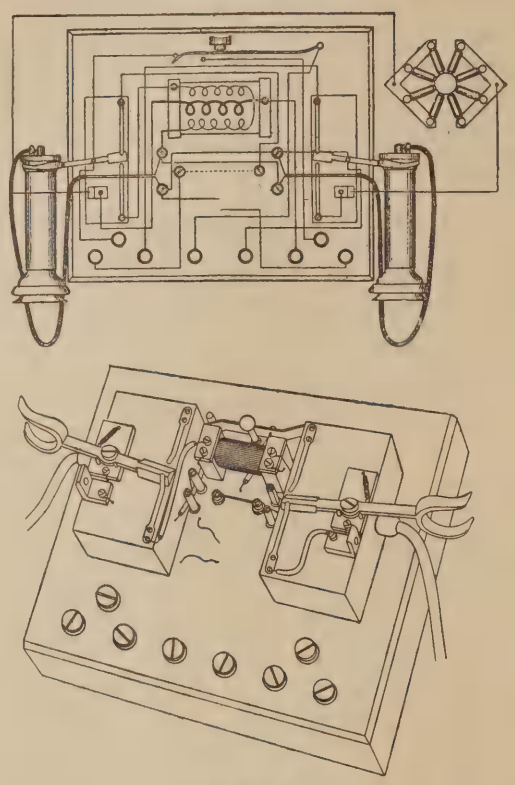


Fig. 3 et 4.

ment le montage anglais des récepteurs en quantité, dont la bizarrerie étonne et ne convainc pas.

REVUE DES TRAVAUX

RÉCENTS EN ÉLECTRICITÉ

Recherches expérimentales sur les transformateurs à courants alternatifs, par M. J.-A. Fleming [1].

III. — *Expériences avec la méthode des trois ampèremètres.*

10. Nous avons ensuite porté notre attention sur la modification de la méthode des voltmètres proposée par l'auteur, et qui comporte des mesures d'intensité au lieu de mesures de tensions. Théoriquement cette méthode exige trois ampèremètres A_1, A_2, A_3, disposés comme le montre la figure 5. Mais dans la pratique nous avons jugé nécessaire d'ajouter une méthode simple pour régler la différence de potentiel aux bornes du transformateur à essayer. Voici la disposition adoptée : Un transformateur de 10 chevaux avait son circuit primaire en série avec le primaire du transformateur à essayer. Le secondaire, ou le circuit à gros fil, était fermé sur une résistance consistant en 15 ou 20 plaques de charbon de pile, pressées plus ou moins les unes sur les autres au moyen d'une vis. Les

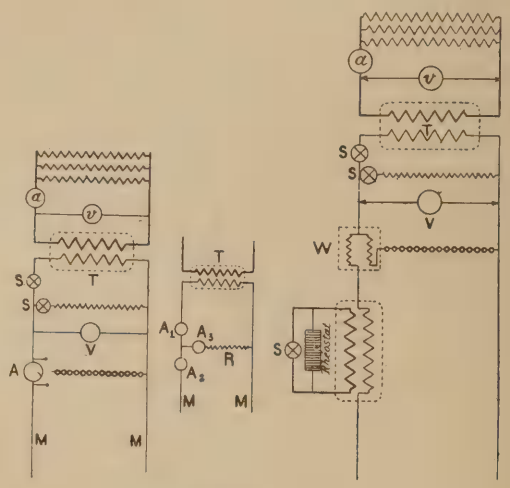


Fig. 6 et 7.

volts aux bornes du transformateur pouvaient être ainsi maintenus parfaitement constants. Comme résistance non inductive nous avons employé une série de lampes à incandescence de 50 bougies. En travaillant dans ces conditions nous pouvions nous passer du troisième ampèremètre A_3 et mesurer une fois pour toutes le courant pris par ces lampes à 2400 volts. Finalement nous avons réduit la méthode à l'emploi d'un seul ampèremètre, de la façon suivante :

Un ampèremètre fut placé dans le circuit primaire du transformateur, et l'on maintenait constante à 2400 volts la différence de potentiel aux bornes de ce transformateur. On plaçait entre les conducteurs primaires une série de lampes à incandescence, et l'on faisait deux lectures sur l'ampèremètre, la première lorsque la

[1] *La Lumière Electrique*, t. XLVII, p. 282.

série de lampes se trouvait entre l'ampèremètre et le transformateur, et la seconde lorsque l'ampèremètre se trouvait entre les lampes et le transformateur. Ces changements de connexion de l'ampèremètre étaient effectués à l'aide de godets à mercure, de façon à éviter toute rupture complète du circuit primaire.

On peut voir aisément que cette méthode possède tous les avantages, quels qu'ils soient, de la méthode des trois ampèremètres, et elle donne lieu à des manipulations beaucoup plus simples. En ce qui concerne la valeur industrielle de la méthode, nous sommes arrivés à la conclusion que les ampèremètres ordinaires ne permettent pas d'atteindre une précision suffisante pour essayer les transformateurs à circuit magnétique ouvert et sans charge. Il serait nécessaire de pouvoir mesurer des intensités de 0,25 à 5 ampères à la troisième décimale près, ce qui est impraticable avec les instruments ordinaires.

Tableau IX. — Transformateur Ferranti (type 1885). N° 747. — Puissance = 5 chevaux. Volts secondaires = 100. Fréquence employée = 81,6 périodes par seconde. Température finale du transformateur = 100° C. Volts primaires V_1 = 2400. Résistance du circuit primaire = 12,5 ohms à 100° C. Résistance du circuit secondaire = 0,0252 ohm à 100° C.

Le tableau IX montre que les ampères primaires montent de 0,332 à 1,89. Les ampères secondaires s'élèvent de 0 à 38,78, et les volts secondaires tombent de 100,9 à 99,1. La puissance totale dissipée dans le transformateur monte de 538 à 636 watts.

Tableau X. — Transformateur Ferranti de 5 *chevaux (type* 1885*).* — Volts primaires = 2400. Volts secondaires à charge nulle = 100,9.

Ce tableau montre que les ampères montent de 0,329 à 1,9. Le courant secondaire passe de 0 à 39,19 ampères. Les pertes dans le cuivre primaire varient de 1,3 à 45,2 watts; les pertes dans le cuivre secondaire de 0 à 38,7 watts. La puissance primaire réelle varie de 538 à 4580 watts, et les watts primaires apparents de 790 à 4555. Le facteur de puissance s'élève de 0,68 à 1.

Tableau XI. — Transformateur Ferranti (type 1885, *reconstruit).* N° 539. — Puissance = 5 chevaux. Volts secondaires = 100. Fréquence employée = 81,6 périodes par seconde. Température finale du transformateur = 66°C. Volts primaires V_1 = 2400. Résistance du circuit primaire = 29,80 ohms à 66°C. Résistance du circuit secondaire = 0,057 ohms à 66°C.

Les ampères primaires montent de 0,11 à 1,741, les ampères secondaires de 0 à 39,65, et les volts secondaires tombent de 102,7 à 98,4. La puissance totale dissipée dans le transformateur varie entre 235 et 399 watts.

Tableau XII. — Transformateur Ferranti de 5 *chevaux (type* 1885, *reconstruit).* — Volts primaires = 2400. Volts secondaires à vide = 102,7.

Ce tableau montre que les ampères primaires s'élèvent de 0,11 à 1,741, les ampères secondaires de 0 à 39,65. Les watts primaires réels varient de 235 à 4301, et les watts primaires apparents de 264 à 4178. Les pertes dans le cuivre primaire montent de 0 à 99 watts, et les pertes dans le cuivre secondaire de 0 à 89,5 watts. Le facteur de puissance s'élève de 0,98 à 1,03.

Tableau XIII. — Transformateur Westinghouse. — Puissance = 6500 watts. Volts secondaires = 100. Fréquence employée = 82,5 périodes par seconde. Température finale du transformateur = 36°C. Volts primaires V_1 = 2400. Résistance du circuit primaire = 5,95 ohms à 36°C. Résistance du circuit secondaire = 0,0108 ohm à 36° C.

Ce tableau montre que les ampères primaires montent de 0,05 à 2,775; les ampères secondaires de 0 à 64,748. Les volts secondaires tombent de 101 à 98,6. La puissance totale dissipée dans le transformateur varie de 95 à 214 watts.

Tableau XIV. — Transformateur Westinghouse. — Volts primaires = 2400. Volts secondaires à vide = 101,0.

D'après ce tableau les ampères primaires montent de 0,05 à 2,775, le courant secondaire de 0 à 64,74 ampères. Les pertes dans le cuivre primaire varient de 0 à 45,8 watts, les pertes dans le cuivre secondaire de 0 à 45,3 watts. Les watts primaires réels montent de 95 à 6598, les watts primaires apparents de 120 à 6660. Le facteur de puissance varie de 0,79 à 1,03.

IV. — Expériences avec la méthode du wattmètre.

11. Peu satisfaits des résultats obtenus avec les méthodes précédemment décrites, nous

avons porté notre attention sur l'emploi du dynamomètre-wattmètre pour la mesure de la puissance fournie au circuit primaire des transformateurs. On sait que l'on peut employer à cet effet un wattmètre avec des bobines série et shunt indépendantes, pourvu que le circuit en shunt ait une constante de temps pratiquement nulle, et l'unique difficulté qui se présente dans l'examen de cette méthode est de savoir si le circuit en dérivation est, en réalité, suffisamment exempt d'induction ou de capacité pour permettre des mesures précises, et cela ne peut pas être admis *a priori*.

Nous avions deux wattmètres. L'un était un électrodynamomètre Swinburne, destiné à être employé comme ampèremètre pour des courants de 0,2 à 4 ampères. La bobine fixe consistait en quelques douzaines de tours de fil, et la bobine mobile était formée de quatre spires. Nous avons modifié les connexions de façon à en faire un wattmètre, la bobine fixe étant placée en série, la bobine mobile en dérivation dans un circuit comprenant en outre une série de 24 lampes à incandescence de 200 volts et de 50 bougies ou bien deux rangées de 24 lampes de 16 bougies disposées en parallèle. Contrairement à la pratique usuelle nous avions donc un wattmètre dont le circuit du shunt était traversé par le courant le plus intense. Ce couraut était de 1,8 à 2,94 ampères selon le groupe de lampes employé.

Ce wattmètre avait donc une très faible inductance. On l'étalonnait en lui faisant mesurer la puissance connue dissipée dans notre résistance étalonnée. Les six bobines de notre résistance n° 1 furent disposées deux en série et trois en parallèle entre les conducteurs à 2400 volts. Le courant traversant ces résistances était mesuré au moyen d'une balance Kelvin pour déciampères; son intensité était de 2,23 ampères; la différence de potentiel, mesurée par un voltmètre Swinburne était de 2400 volts; on maintenait cette valeur au moyen d'un transformateur régulateur dont le secondaire débitait sur une résistance en charbon (fig. 6). La puissance dissipée était donc de 5357 watts.

La même détermination était ensuite faite au moyen du wattmètre, ce qui permettait d'en déterminer la constante. Pour la puissance susmentionnée il fallait tourner la tête de torsion de l'instrument de 175 degrés. Cette valeur correspondait à 30,6 watts par division de l'échelle. On voit donc que nous employions un wattmètre qui, tout en absorbant une puissance considérable dans son circuit shunt, permettait d'effectuer des mesures entre 12 000 watts et 10 ou 12 au minimum.

M. Swinburne nous avait aussi fourni deux de ses wattmètres non inductifs. Dans ces instruments le circuit shunt consistait en une petite bobine d'une centaine de tours de fil fin, ayant une résistance d'environ 100 000 ohms et supposées non inductives.

A l'aide de ces wattmètres nous avons effectué une série d'essais sur divers transformateurs, en mesurant la puissance absorbée lorsque le secondaire débitait à des régimes variés. Les résultats sont enregistrés dans les tableaux joints au mémoire. Dans chaque cas le dynamomètre Siemens était étalonné sur la résistance non inductive absorbant environ 7 chevaux.

Le tableau IX donne les nombres obtenus pour le transformateur Ferranti (type 1885, ancienne forme). Le circuit secondaire était chargé graduellement au moyen de lampes à incandescence, et pendant que la puissance P, fournie au primaire était mesurée par une balance Kelvin et un voltmètre électrostatique. Nous avons aussi mesuré les intensités du courant primaire aux différentes charges. Nous obtenions donc pour chaque transformateur les volts aux bornes, le courant, et la puissance débitée par le secondaire, et en même temps le courant et la puissance dans le primaire; la différence entre P_1 et P_2, c'est-à-dire la puissance totale perdue était donc connue pour tous les régimes. Finalement, on peut aussi calculer le rapport de P_2 à P_1 qui nous donne le rendement.

Dans toutes ces expériences la différence de potentiel primaire étant maintenue soigneusement constante à 2400 volts, et l'on contrôlait la constante du wattmètre avant et après chaque série d'expériences.

Les 10 transformateurs suivants ont été soumis à des essais de ce genre : Un transformateur Ferranti de 5 chevaux (type 1885), un Ferranti 5 chevaux (après avoir remplacé les deux circuits par des bobines de longueur double), deux Ferranti 15 chevaux (type 1892), un Ferranti 20 chevaux (type 1892), un Westinghouse 6500 watts (le même transformateur employé

par M. Hopkinson dans ses récentes expériences), un Mordey-Brush 6000 watts, un Thomson-Houston 4500 watts, un Kapp 4000 watts, et un Swinburne 3000 watts (type « hérisson »).

Par les valeurs connues des résistances des enroulements (mesurées à chaud) et par les intensités de courant mesurées nous avons calculé les pertes dans le cuivre ($R I^2$) des deux circuits; et au moyen des volts et du courant primaires nous avons obtenu la valeur de la puissance apparente fournie au transformateur; enfin, les watts apparents et les watts réels permettaient de déterminer le facteur de puissance. Les valeurs de la différence de potentiel aux bornes du secondaire nous donnaient aussi la chute de potentiel secondaire totale; et l'on pouvait encore distinguer la chute de potentiel R I due à la résistance.

Les résultats d'observation et de calcul pour chacun des 10 transformateurs essayés sont donnés en détail dans les tableaux IX à XXIX.

Tableau XV. — Transformateur Ferranti (type 1892). N° 2194. — Puissance = 15 chevaux. Volts secondaires = 100. Fréquence employée = 81,6 périodes par seconde. Volts primaires V_1 = 2400. Résistance du circuit primaire = 6,45 ohms. Résistance du circuit secondaire = 0,0134 ohm.

Ce tableau montre que les ampères primaires montent de 0,076 à 3715, les secondaires de 0 à 114,63. Le voltage secondaire tombe de 100,4 à 97. La puissance totale dissipée dans le transformateur varie entre 149 et 570.

Tableau XVI. — Transformateur Ferranti de 15 chevaux (type 1892). — Voltage primaire = 2400. Voltage secondaire à vide = 100,4.

Le courant primaire monte de 0,076 à 4762 ampères. Le courant secondaire de 0 à 112,89 ampères. Les pertes dans le cuivre primaire s'élèvent de 0 à 146,4, et les pertes dans le cuivre secondaire de 0 à 171 watts. La puissance primaire réelle varie entre 149 et 11 496 watts, la puissance primaire apparente entre 188 et 11 429 watts. Le facteur de puissance varie entre 0,82 et 1,05.

Tableau XVII. — Transformateur Ferranti (type 1892, reconstruit). N° 2193. — Puissance = 15 chevaux. Voltage secondaire = 100. Fréquence employée = 82,5 périodes par seconde. Voltage primaire V_1 = 2400. Résistance du circuit primaire = 3,77 ohms. Résistance du circuit secondaire = 0,0092 ohm.

Ce tableau montre que le courant primaire s'élève de 0,103 à 4,837 ampères, le courant secondaire de 0 à 113,85 ampères. Le voltage secondaire tombe de 100 à 97,8. La puissance totale dissipée dans le transformateur monte de 229 à 607 watts.

Tableau XVIII. — Transformateur Ferranti de 15 chevaux (type 1892, reconstruit). — Voltage primaire 2400. Voltage secondaire à vide = 100.

Ce tableau montre que le courant primaire augmente de 0,103 à 4,837 ampères, le courant secondaire de 0 à 113,85 ampères. Les pertes dans le cuivre primaire montent de 0 à 88,1 watts, les pertes dans le cuivre secondaire de 0 à 119 watts. La puissance primaire réelle augmente de 229 à 11 742, la puissance primaire apparente de 247 à 11 609 watts. Le facteur de puissance varie entre 0,93 et 1,01.

Tableau XIX. — Transformateur Ferranti (type 1892). N° 2184. — Puissance = 20 chevaux. Voltage secondaire = 100. Fréquence employée = 82,7 périodes par seconde. Température finale du transformateur = 37° C. Voltage primaire V_1 = 2400. Résistance du circuit primaire = 2,75 ohms à 37° C. Résistance du circuit secondaire = 0,0061 ohm à 37° C.

Ce tableau montre que le courant primaire augmente de 0,112 à 6,5, le courant secondaire de 0 à 151,44 ampères. Le voltage secondaire varie entre 101 et 97,9. La puissance totale dissipée dans le transformateur varie entre 210 et 525 watts.

Tableau XX. — Transformateur Ferranti de 20 chevaux (type 1892). — Voltage primaire = 2400. Voltage secondaire à vide = 100.

Le tableau XX montre que le courant primaire augmente de 0,112 à 6,5, le courant secondaire de 0 à 151,44 ampères. Les pertes dans le cuivre primaire augmentent de 0 à 116, les pertes dans le cuivre secondaire de 0 à 138 watts. La puissance primaire réelle monte de 230 à 15 322, la puissance primaire apparente de 269 à 15 600 watts. Le facteur de puissance varie entre 0,86 et 1,03.

Tableau XXI. — Transformateur Mordey. N° 1868. — Puissance = 6000 watts. Voltage secondaire = 50 et 100. Fréquence employée = 82,9 périodes par seconde. Voltage primaire V_1 = 2400. Résistance du circuit primaire

= 7,74 ohms. Résistance du circuit secondaire = 0,0163 ohm.

Ce tableau montre que le courant primaire augmente de 0,076 à 2,668, le courant secondaire de 0 à 61,58 ampères. Le voltage secondaire tombe de 101,1 à 99,2. La puissance totale dissipée dans le transformateur varie entre 148 et 311 watts.

Tableau XXII. — Transformateur Mordey. — Voltage primaire = 2400. Voltage secondaire à vide = 101,1.

Ce tableau montre que le courant primaire augmente de 0,076 à 2,668, le courant secondaire de 0 à 61,58 ampères. Les pertes dans le cuivre primaire augmentent de 0 à 55, les pertes dans le cuivre secondaire de 0 à 62 watts. La puissance primaire réelle monte de 148 à 6420, la puissance primaire apparente de 182 à 6403 watts. Le facteur de puissance varie entre 0,81 et 1,03.

A. H.

(*A suivre*).

Appareils de démonstration des expériences de Hertz, par L. Zehnder (¹).

Les petites étincelles obtenues par Hertz dans ses expériences sur le rayonnement électrique ne peuvent être rendues visibles à une nombreuse assistance, parce qu'elles n'émettent qu'une faible lumière. Il est vrai que l'on peut obtenir des étincelles à 6 mètres de l'excitateur, et que ces étincelles peuvent être vues à 3 mètres de distance, mais on ne peut les montrer à la fois qu'à un nombre limité de personnes. Beaucoup de dispositifs ont donc été imaginés pour rendre ces effets plus démonstratifs. L'auteur a cherché à atteindre ce même but en faisant produire aux étincelles du résonateur la décharge à travers des tubes Geissler d'une batterie d'accumulateurs à haute tension. La brillante illumination des tubes rend les effets du rayonnement électrique très nettement visibles.

L'auteur a employé un réflecteur avec ses conducteurs primaires et secondaires dans la position décrite par Hertz ; le conducteur secondaire consistait en deux plaques de laiton de 50 centimètres de longueur; 5 centimètres de largeur et 1 millimètre d'épaisseur. La bobine Ruhmkorff donnait des étincelles 0,7 centimètre de longueur lorsqu'on employait un interrupteur Deprez très rapide. La batterie consistait en une série de 600 éléments Planté couplés en tension avec un mégohm, de sorte que de très faibles courants traversaient le tube Geissler.

Les résultats de quelques expériences préliminaires peuvent présenter de l'intérêt. La première expérience était faite avec le dispositif représenté dans la figure 1. II, II sont les conducteurs secondaires dans la ligne focale du réflecteur. Q_1 et Q_2 sont des godets à mercure, G_1 G_2 deux petits tubes de Geissler d'environ 4 centimètres de diamètre, dont les électrodes étaient assez peu écartées; f est le déflagrateur Hertz, et A la batterie. L'intervalle d'air était

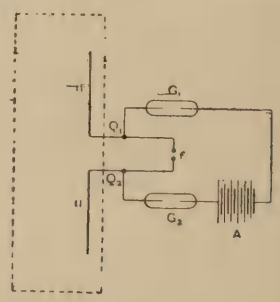


Fig. 1

réglé de façon que, la batterie mise hors circuit, il produisait de petites étincelles. Puis on intercalait la batterie et l'on réglait la différence de potentiel de manière qu'en ajoutant un ou deux éléments on produisait des étincelles dans le circuit $G_1 f G_2$. En faisant alors jaillir en f les étincelles hertziennes, le courant de la batterie pouvait immédiatement vaincre la résistance de G_1 et G_2, et l'illumination des tubes indiquait la production de l'étincelle de Hertz.

Dans d'autres expériences, le déflagrateur fut introduit dans les tubes mêmes. En premier lieu, un tube contenant un déflagrateur d'un certain écartement fut petit à petit épuisé, et l'on observait de temps en temps la nature de l'étincelle: l'éclat de celle-ci semblait diminuer avec la pression de l'air. Ensuite la pression fut réduite à 1 millimètre de mercure; et pour obtenir un intervalle d'air extrêmement petit on scella dans le tube de gros fils du cuivre couverts de platine dont on amena les extrémités en contact. Pendant le refroidissement, les fils de

(¹) *Wiedemann's Annalen*, n° 9, 1892, d'après *The Electrician*.

cuivre se contractaient plus que le verre, et leurs extrémités s'écartaient d'une distance très petite. Pendant ce temps on fit passer les étincelles. Au début elles présentaient le même aspect que les étincelles de Hertz, mais tandis que les fils de cuivre s'écartaient de plus en plus, elles arrivaient à un point critique où leur éclat disparaissait. En regardant maintenant le tube dans l'obscurité on pourrait observer autour des électrodes une lueur phosphorescente. Cette lueur est sans doute la lumière cathodique, et elle semblait être répartie systématiquement autour des électrodes. La lumière à l'anode n'était pas visible, parce qu'elle était probablement masquée par l'éclat de la cathode. Il était remar-

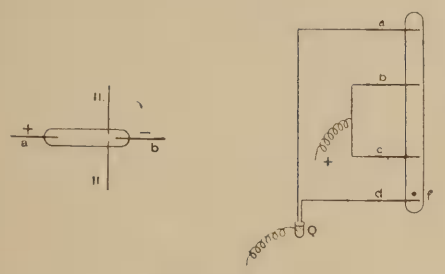


Fig. 2 et 3.

quable que le passage de l'étincelle à l'effluve avait lieu brusquement dès que la distance critique était atteinte. Cette distance pouvait être reculée en rapprochant de plus en plus l'un de l'autre les réflecteurs de Hertz.

L'auteur introduisit ensuite dans le même tube les électrodes pour la décharge à courant continu et celles du résonateur de Hertz, comme le montre la figure 2. *a* et *b* sont les électrodes, II, II, les conducteurs secondaires de Hertz. Le déflagrateur était placé près de la cathode, puisque c'est dans le voisinage de celle-ci que se trouve la plus grande résistance de l'air; et en anéantissant cette résistance au moyen des étincelles de Hertz on pouvait diminuer considérament la résistance totale. On trouva qu'en établissant entre *a* et *b* une différence de potentiel un peu trop faible pour produire la décharge, l'étincelle de Hertz pouvait déterminer cette décharge, mais seulement lorsque ses électrodes étaient suffisamment écartées pour donner lieu à l'effluve dont il a été parlé plus haut.

Une autre expérience était effectuée avec le dispositif (fig. 3). Deux paires d'électrodes *a b* et *c d* étaient scellées dans le même tube, *a* et *b* étant un peu plus écartées que *c* et *d*. Entre ces deux dernières se trouvaient en *f* les électrodes secondaires de Hertz. Au moyen d'un godet à mercure Q, les deux paires d'électrodes pouvaient être reliées à la batterie. En faisant passer la décharge entre *a* et *b*, il ne passait rien entre *c* et *d*, mais dès que, et en même temps que les étincelles hertziennes jaillissaient en *f*, l'effluve se produisait entre *c* et *d*. Ainsi, en cachant la partie *a b* on ne voyait briller *c d* que pendant la production des étincelles en *f*. Le tube fut mis graduellement hors service, parce qu'au bout

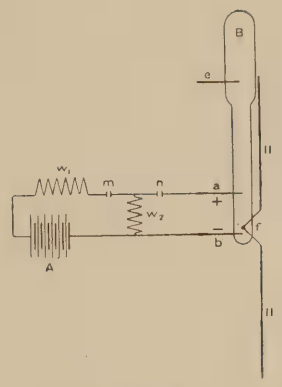


Fig. 4

d'un certain temps la résistance *a b* devint inférieure à la résistance *c d*.

Beaucoup d'expériences ont été faites avec la disposition figure 4. Les conducteurs secondaires II II étaient fixés à un tube dont les électrodes *a b* servaient à la décharge de la batterie. A est la batterie, W_1 et W_2 de grandes résistances, *m* et *n* des commutateurs. Ce tube avait 8 millimètres de diamètre intérieur, et les électrodes étaient écartées de 4 centimètres. Le déflagrateur était en *f*, près de l'électrode *b*, qui servait généralement de cathode. Afin d'éviter la variation de résistance du tube, on y introduisait au moyen de l'électrode une certaine quantité de sodium métallique qui absorbait l'oxygène restant dans le tube après épuisement. La pression était de 1,2 mm. de mercure. Les résistances W_1 et W_2 étaient des tubes contenant une solution d'iodure de cadmium dans l'alcool amylique, et elles pouvaient être ajustées. W_1 en série réglait l'intensité du courant, W_2 en dérivation servait à régler la différence de potentiel aux électrodes.

Cette disposition permet de montrer d'une façon très nette le passage des étincelles de Hertz produites par des réflecteurs placés à 8 mètres de distance. La décharge de la batterie, amorcée par l'étincelle hertzienne, peut être parfaitement distinguée, dans une pièce ne laissant entrer que de la lumière diffuse, jusqu'à 10 mètres de distance.

L'auteur décrit quelques expériences qui tendent à montrer que, par suite de variabilité de la différence de potentiel produite par une bobine d'induction, celle-ci ne donne pas, dans ces expériences, des effets aussi nets qu'une batterie à haute tension; toutefois elle peut remplacer cette dernière quand on ne dispose pas d'un nombre d'éléments suffisant.

A. H.

Détermination des coefficients de self-induction au moyen des oscillations électriques, par M. P. Janet [1].

La détermination des coefficients de self-induction à l'aide de la formule

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

suppose admis l'exactitude des principes servant à l'établissement de cette équation et en particulier de celui-ci : pendant la période variable il existe un rapport constant entre la charge d'un condensateur et la différence de potentiel de ses armatures.

M. Janet se réserve de montrer que, au moins pour le cas des diélectriques solides, cette loi est en contradiction directe avec l'expérience. Cette contradiction serait due à l'existence de phénomènes analogues à ceux de l'hystérésis magnétique, qui font que, à différence de potentiel égale, la charge est plus petite pour les différences de potentiel croissantes que pour les décroissantes. Nous connaissons les idées émises récemment par M. Hess pour l'explication de ce phénomène d'hystérésis diélectrique, nous n'avons donc pas à y revenir.

M. Janet propose alors de déterminer les coefficients de self-induction au moyen d'oscillations à période relativement lente (1/10000 de seconde) produite par un condensateur en mica en se fondant simplement sur la définition du coefficient à mesurer.

Cette méthode est la suivante :

Une bobine A B de résistance r et dont on veut mesurer le coefficient de self-induction est mise en série avec une résistance morte que nous supposerons être égale aussi à r. Un mouvement oscillatoire quelconque est produit dans l'ensemble et l'on mesure par la méthode déjà indiquée [1], les différences de potentiel e_1 et e_2 entre A et B et B et C; et qui sont proportionnelles aux impulsions du balistique employé. On a donc

$$ky_1 = e_1$$
$$ky_2 = e_2.$$

D'autre part on a aussi, i étant l'intensité du courant.

$$e_1 = ri + L\frac{di}{dt};$$
$$e_2 = ri$$

d'où,

$$ky_1 = ri + L\frac{di}{dt},$$
$$ky_2 = ri.$$

Et en retranchant membre à membre et remplaçant $\frac{di}{dt}$ par $\frac{k}{r}\cdot\frac{dy_2}{dt}$,

$$L = r\frac{y_2 - y_1}{\frac{dy_2}{dt}}.$$

Pour obtenir la valeur de L à l'aide de cette expression, construisons les courbes y_1, y_2 en prenant pour abscisse la variable donnée par l'appareil, c'est-à-dire la division x du micromètre.

On écrit alors

$$L = r\frac{y_2 - y_1}{\frac{dy_2}{dx}\cdot\frac{dx}{dt}} = r\frac{y_2 - y_1}{a\frac{dy_2}{dx}}.$$

La dérivée $\frac{dx}{dt} = a$ est constante et est facilement mesurable [2].

[1] *Comptes rendus*, n° 26, 26 décembre 1892.

[1] *La Lumière Électrique*, p. 543, t. XLVI.

[2] En effet, si d est la distance de la came du disjoncteur au centre, obtenue à la machine à diviser, n le nombre de tours par seconde, on a, chaque division du micromètre équivalant à 0,002 cm.,

$$a = 1000\,\pi\,dn.$$

La mesure des deux quantités $y_2 - y_1$ et $\frac{dy_2}{dx}$ serait peu précise, aussi M. Janet opère ainsi :

L étant constant, au maximum du numérateur correspond celui du dénominateur; il suffira donc de mesurer ces deux maxima sur les courbes, celui de $y_2 - y_1$ et le coefficient angulaire de la tangente d'inflexion à la courbe y_2, ce qui peut se faire avec une précision suffisante, et L sera enfin donné par la formule définitive

$$L = r \frac{(y_2 - y_1)\,\max}{a\left(\frac{dy_2}{dx}\right)\max},$$

qui non seulement ne contient pas la capacité de condensateur employé, mais ne suppose pas non plus que ce mot capacité ait un sens; pendant la période variable, la définition de L intervient seule.

En suivant cette méthode et employant des capacités différentes de 0,1 ; 0,2 ; 0,3 microfarad, M. Janet a obtenu des résultats très concordants et donnant pour moyenne de six expériences le même nombre que celui obtenu en appliquant la méthode classique de lord Rayleigh.

F. G.

NÉCROLOGIE

Henry-Joseph Archereau.

On nous annonce la mort de M. Henry-Joseph Archereau, chimiste-électricien, qui est décédé le 10 février en son domicile, 11, rue du Retrait, à l'âge de soixante-treize ans, laissant une fille et des petits-enfants.

Venu jeune à Paris, dans les dernières années du règne de Louis-Philippe, M. Archereau s'attacha à faire connaître au public les propriétés de la lumière électrique à l'aide de la pile de Bunsen, qui venait d'être inventée. Il fit la démonstration dans une boutique qu'il loua, quai des Orfèvres. Comme il n'y avait point alors de régulateur électrique, il fut conduit à en imaginer un, le premier qui ait été jamais réalisé. Cet appareil, dans lequel les deux charbons sont rendus solidaires l'un de l'autre par une simple ficelle, a marché d'une façon assez satisfaisante pour que le système Archereau ait inspiré les autres inventeurs d'appareils plus parfaits, mais c'est M. Archereau qui a incontestablement ouvert la voie à la régulation de l'arc électrique. Le fait est reconnu expressément par Du Moncel, dans les diverses éditions de son *Traité des applications de l'électricité*.

C'est également M. Archereau qui le premier eut l'idée d'agglomérer les débris de charbon pour former les briquettes dont se servent aujourd'hui toutes les compagnies de chemin de fer.

La fortune n'a pas souri aux efforts de cet homme ingénieux, qui tomba dans une profonde misère, devenue beaucoup plus grande après la mort de Gaston Planté, car celui-ci, qui serait peut-être mort de faim, malgré l'invention des accumulateurs, s'il n'avait hérité d'une grande fortune, appréciait Archereau, et l'a soutenu plus d'une fois de ses libéralités.

Les amis de M. Archereau organisèrent, il y a quelques années, des souscriptions en sa faveur. Le *Figaro* y ayant pris part, M. Archereau eut à sa disposition une petite somme, qu'il crut suffisante pour réaliser de nouvelles inventions, mais cette somme ayant été épuisée, M. Archereau retomba dans l'état misérable où il végéta jusqu'à la fin de sa vie.

W. DE F.

VARIÉTÉS

LE CAOUTCHOUC DU HAUT-ORÉNOQUE [1]

Falsifications indiennes. — Mais ils en ont généralement de mauvaises : l'Indien est de sa nature *carottier!* Pour rendre sa planche plus lourde, il emploie toute espèce de procédés de falsification, généralement d'une simplicité enfantine, mais qui n'en sont que plus faciles à passer inaperçus : l'acheteur cherche la petite bête et l'Indien se moquant de lui à sa barbe, lui vend parfois pour du caoutchouc un simple caillou!

[1] *La Lumière Electrique* du 11 février 1893, p. 287.

Fraudes diverses. — Si l'Indien croit que l'acheteur peu au courant de ces fraudes n'incisera pas la planche d'un bout à l'autre, verticalement à son grand axe, « pour regarder ce qu'il y a dedans », il bourre de sable et de petits graviers l'espace compris entre les divers feuillets, ou il laisse au milieu la palette, généralement faite d'un bois très lourd, après avoir coupé les manches, amputation habilement dissimulée par un bon moulage de caoutchouc. Parfois, pendant qu'il coagule son lait, il y moule jusqu'à du fer, de vieux clous, des objets quelconques, des cailloux, des os, des morceaux de bois lourd, même le fer blanc des boîtes de conserves que les explorateurs sèment un peu partout; les Indiens recueillent ces boîtes comme des objets précieux, beaucoup plus envieux de la boîte vide que, pleine, de son contenu. Souvent, ouvrant une boîte de sardines, nous voyions les Indiens se ranger en cercle autour de nous et jeter sur le plat de résistance de notre festin des regards de convoitise; au début nous avions la naïveté de leur offrir quelques parcelles du mets rare, mais nous comprîmes bientôt que la boîte seule faisait flamber leurs yeux de désir; elle servait adroitement à toutes sortes de choses, surtout à alourdir (!) le caoutchouc.

Donc ils sont experts dans l'art de voler et de tromper : mais malheur à qui les trompe! Voilà, par exemple, ce qu'ils ne permettent jamais, et ils s'en vengent toujours!

VÉRITABLE SOPHISTICATION.

Voici une véritable sophistication du caoutchouc, beaucoup plus raffinée.

Autres laits. — Parmi les arbres à lait, si nombreux dans ces forêts, se trouvent diverses espèces de guttifères; nous en avons établi huit jusqu'a ce jour, appelés dans la langue du pays *Pindaré*, *Masarandu*, *Marima*, etc., enfin des *Balatas* proprements dits; tous appartiennent à la famille des *Mimosées*, ou à celle des *Sapotées*. Ces laits de guttas contiennent de 30 à 50 o/o de résines, ce qui les rend impropres à l'industrie; nous le verrons plus tard, dans notre étude sur la gutta-percha américaine, et nous exposerons des procédés très simples, presque entièrement mécaniques, pour isoler ces résines dans le lait frais et obtenir la gutta-percha à l'état pur. Inutile de dire que les Indiens ne connaissent aucune autre utilisation de ces laits que la sophistication du caoutchouc, ils ne se doutent guère avoir sous la main un produit plus abondant, valant beaucoup plus cher, et beaucoup plus facile à récolter.

Le Pindaré. — Tandis, en effet, que l'Hévé doit être préparé et piqué avec soin, d'une façon minutieuse, que son lait coule lentement, péniblement, goutte à goutte, à raison de 100 à 150 grammes au maximum par arbre pour une matinée, le lait, au contraire de quelques arbres à gutta, comme le *Pindaré*, essence plus répandue encore que l'Hévé, coule, sans préparation, avec abondance, facilité, rapidité : on pique l'arbre au moyen d'un couteau, en un seul point : le lait jaillit presque comme du pis d'une vache et on peut en recueillir 250 ou 300 grammes en moins d'un quart d'heure! Voilà, certes, une mamelle autrement complaisante et productive : le lait en est coagulable et fumable, bien entendu, comme celui du caoutchouc; aussi, les Indiens mélangent-ils volontiers les deux laits, ou mieux ils opèrent de la façon suivante : près de leur foyer de fumage, ils ont les deux laits séparés, dans deux récipients différents; ils moulent sur la palette tantôt une couche de pindaré, tantôt une couche d'hévé, ou, un jour ils ne coulent que du caoutchouc, le lendemain que du pindaré.

S'ils ne livraient que des planches de pindaré seul, elles se reconnaîtraient à première inspection, étant dures, non élastiques, ramollissables par la chaleur et conservant l'empreinte du doigt; tandis que la planche faite avec les deux laits, toujours enveloppée superficiellement d'une chemise de caoutchouc pur, a, au premier abord, l'aspect et la couleur d'une planche saine.

Manière de reconnaître la fraude. — Mais si la planche, ainsi falsifiée, est projetée à terre de haut, — mieux, sur un corps dur, tel que le roc, — elle ne rebondit pas comme le pain de caoutchouc pur; elle tombe avec un son mat, elle s'affale et reste sur place ainsi qu'un morceau de bois, ne *contiendrait-elle qu'un huitième de pindaré pour sept huitièmes d'hévé*, comme nous l'avons expérimenté. Au-dessous de cette proportion, il est difficile de la différencier : la planche rebondit, ou à peu près, mais alors la falsification n'en vaut guère la peine pour l'Indien.

De plus, si on coupe cette planche en deux, les lames de gutta se distinguent de suite de celles de caoutchouc, étant denses, plus dures, et conservant l'empreinte du doigt; pris au piège, l'Indien n'essaye pas de nier et enlève lui-même les feuillets de pindaré. Quand nous arrivâmes dans le Haut-Orénoque, nous ne comprîmes pas que cette savante sophistication fût connue des acheteurs, mais elle était pratiquée par les Indiens sur une vaste échelle. Vivant avec eux, de leur vie, nous finîmes bien par nous apercevoir qu'ils piquaient autre chose que des Hévés; bien que méfiants et cachottiers de nature, ils se cachaient relativement peu de nous, qui n'allions pas faire du commerce avec eux. Nous découvrîmes ainsi le Pindaré, inconnu avant nous des Européens, et par lui, le premier arbre à gutta de ces régions; nous pûmes ainsi indiquer la fraude et les moyens de la déjouer.

Mais, quand des planches faites avec les deux laits sont vieilles, bien sèches, bien noires, le caoutchouc durcit, et la distinction par feuillets n'est plus possible, à moins de les tremper dans l'eau chaude. Cependant, même très sec, le pain de caoutchouc pur est toujours le seul assez élastique pour rebondir bien.

Le Pindaré est un guttifère. — Actuellement, donc, quand le caoutchouc arrive sur les marchés, on se contente de le trouver bon ou mauvais sans en connaître la cause. Quant à nous, nous dirons aux marchands européens dans les magasins desquels arrivent ces caoutchoucs : « Quand vous verrez de telles planches, ne les repoussez pas, jetez-les sur le carreau ; si elles ne sont pas élastiques, c'est qu'elles contiennent sans doute de la gutta; plongez-les un instant dans l'eau à 75°, séparez les feuillets, et ceux qui ne seront pas du caoutchouc seront de la gutta; une gutta pas parfaite, mais fort utilisable, préparée dans des conditions d'antiseptie qui l'ont protégée de la déséquilibration moléculaire; cette gutta, telle qu'elle est, a encore une plus grande valeur que le prix du caoutchouc, pour lequel on veut vous la vendre. Achetez la planche, et vous aurez fait une bonne affaire. »

Les planches de pindaré ne sont pas achetées, uniquement parce qu'on ne sait pas ce que c'est : on ne peut s'imaginer que ces pains noirs, d'aspect si voisin du caoutchouc, si éloigné de la gutta telle qu'elle arrive sur les marchés, constituent cependant une gutta très passable.

Ignorance des acheteurs. — Il est regrettable que ce produit soit ainsi refusé : les pauvres Indiens du Haut-Orénoque gagneraient à pouvoir exploiter ces pindarés, même par leurs moyens rudimentaires. Nous plaidons leur cause, car nous sommes leur ami, mais l'industrie électrique y gagnerait aussi, nous en sommes bien convaincu. C'est une ironie amère du sort que ces malheureux êtres soient condamnés à exploiter seulement l'ingrat Hevœa, quand ils ont sous la main, en plus grande abondance, un produit plus aisé à recueillir, qui vaut plus cher et qui serait recherché s'il était mieux connu.

Bizarres conséquences de cette ignorance. — Pour le moment, retenons seulement cette philosophie de la routine humaine : les *sauvages* falsifient le caoutchouc avec la gutta-percha ! et les *civilisés* leur laissent cette falsification pour compte !!!

Planches obtenues. — Les planches obtenues par la méthode indienne sont très variables comme poids et comme grosseur, bien que, généralement moulées sur la *paleta*, elles soient de même forme. Nous en avons rapporté une en Europe qui pesait 72 kilogrammes. Elle avait sûrement donné un mal énorme à l'Indien qui l'avait fabriquée ; il avait dû changer trois fois l'installation, façonner et cuire des calottes spéciales ; toute sa famille employait ses forces à faire tourner cette énorme broche ; mais la palette était lourde et solide; elle tint bon jusqu'au bout : ce bloc lui avait coûté cent vingt-six jours de travail et il n'avait fait que celui-là dans toute la saison !

On a beau leur dire qu'une planche petite a tout autant de valeur, proportionnellement, qu'une grosse planche; que l'acheteur tient seulement compte de *la qualité*. Rien n'y fait : ils mettent leur amour-propre, une sorte de point d'honneur, à enfanter un produit monstrueux. Cet Indien, vantard et menteur, prétendait devant nous, avec de fiers serments, avoir seulement mis trois semaines à la fabriquer; mais, en dédoublant et comptant les feuillets — un par jour de travail — après avoir disséqué une tranche, nous n'eûmes pas de peine à lui démontrer d'une façon péremptoire qu'il y avait employé exactement cent vingt-six jours ; notre Indien, que nous savions laborieux et avoir une double pica, eut l'air d'en rester fort étonné. La planche était humide ; aussi eut-il, en la vendant, à subir un décompte

de vingt pour cent sur le prix courant; ce décompte représentait à peu près l'excès d'eau qu'elle contenait encore. Il s'en montra indigné, ne pouvant admettre que l'on infligeât un humiliant rabais à une planche si grosse et si ventrue, volumineux objet d'art de primitifs ! La planche pesant soixante-douze kilos, soixante-douze planches d'un kilogramme chacune, et de même qualité, auraient été exactement payées le même prix, tout en lui coûtant beaucoup moins de temps et de mal.

VI. — Nécessité du fumage.

Cette méthode du fumage, ou tout autre remplissant le même but, *est absolument* INDISPENSABLE.

Le caoutchouc et son isomère, la résine. — Le caoutchouc est un hydrocarbure; il est rare que son lait ne contienne pas un peu de résine; peu ou prou, il en renferme toujours, résine qui est elle-même un hydrocarbure dans les mêmes proportions d'hydrogène (12,5 o/o) et de carbone (87,5 o/o), mais d'un groupement moléculaire différent, résine aloétique.

Où commence le caoutchouc, où finit la résine ? La chimie est impuissante à le déterminer, puisque déjà elle ne peut guère différencier la résine pure et le caoutchouc pur. Ces deux matières, qui pour l'analyse chimique sont les mêmes, ont cependant des propriétés physiques bien différentes.

Cause des transmutations. — Eh bien ! un rien intervertit l'ordre des facteurs, et le caoutchouc abandonne facilement son pôle caoutchouc pour s'approcher du pôle résine. Une déséquilibration intime, lente, insaisissable, intervertit à la longue ce caoutchouc en résine, si on n'a pas tenu compte de ce phénomène redoutable et capital, l'oxydation. A notre avis, l'oxygène est le grand corrupteur des caoutchoucs et des guttas, moins par son action directe sans doute que par celle exercée par lui sur la formation des germes et, lâchons le mot, des microbes. Le microbe du caoutchouc, tel est l'agent que l'on découvrira certainement plus tard.

On verra dans notre prochaine étude combien ces données s'appliquent à la gutta-percha ; la gutta américaine surtout, qui contient beaucoup de résine, tellement de résine qu'au bout d'un certain temps la polarisation est complète, si complète que presque toute la gutta a tourné à la résine. Et alors aussi on verra le moyen d'empêcher cette interversion.

Microbes et oxygène. — Dans le caoutchouc, comme dans la gutta, où sont les microbes, où est l'oxygène qui leur permettra de pulluler ?

Les microbes sont dans les poussières, dans l'air lui-même, dans l'écume, en un mot, du lait, quelque soin qu'on ait pris à l'écrémer, à l'avoir bien propre (propre pour l'œil nu, mais certes pas pour le microscope, nous avons pu le voir), et plus encore dans les petits déchets organiques que le vent souffle sur le lait pendant qu'il coule.

L'oxygène, lui, est dans l'air et dans l'eau ; dans l'air, sous forme de bulles que contient toujours la planche pendant qu'on la fume; dans l'eau, car tandis que la palette tourne sur le foyer, la chaleur fait se dégager du lait l'eau qui le maintenait à l'état liquide ; ce phénomène est le principe même de la coagulation ; de petites bulles de vapeur d'eau se forment, qui restent emprisonnées dans la pâte et la boursouflent légèrement.

Le caoutchouc fait est donc pétri, pénétré dans les interstices de sa trame, de germes et de l'agent de l'oxydation ; il n'est pas de substance organique qui ne se décompose sous cette influence; à plus forte raison le caoutchouc, ce composé infidèle, si volage, qui ne demande, après l'avoir quittée, qu'à retourner à sa compagne favorite, la résine.

Le seul moyen d'empêcher cette fugue du caoutchouc, de lui barrer la route, c'est de le priver de ses agents par une bonne *antiseptie.*

L'aseptie est inefficace. — L'*aseptie,* qui consisterait à porter le lait au-dessus de 100 degrés serait insuffisante, outre qu'elle est impraticable, le caoutchouc se brûlant avec une extrême facilité sitôt qu'on touche à la fin de l'opération, car alors on le porte vite au-dessus de son point de fusion; mais elle est insuffisante, car si sa masse interne est stérilisée, elle communique par des pores sans doute ténus, mais qui n'en existent pas moins, avec l'air extérieur, tant que toute son eau n'est pas évaporée, c'est-à-dire pendant environ huit mois ; en outre, les bulles d'air ou de vapeur d'eau qu'elle renferme finissent souvent par communiquer assez largement avec l'air extérieur, l'eau s'ouvrant, à la longue, un passage pour filer. Aussi, au bout de quel-

que temps, trouve-t-on des pores au centre même de la planche, ainsi que nous nous en sommes convaincu.

Pour que la stérilisation fût suffisante, il faudrait donc la continuer au moins huit mois durant, ce qui est impraticable.

Il est bien plus simple de l'antiseptiser une fois pour toutes.

Notre théorie est la vraie. — Il ne faut pas croire que toute cette théorie sur le caoutchouc ici exposée, et pour la première fois, ne soit qu'une théorie plus ou moins ingénieuse pour expliquer des faits inexplicables jusqu'ici; elle correspond à la réalité même de ces faits; notre longue pratique, nos recherches patientes et laborieuses nous l'ont surabondamment prouvé.

Il serait hors du cadre de ce travail d'entrer dans des détails micrographiques ou microbiologiques que nous avons étudiés, mais un seul exemple fera entrer cette conviction dans l'esprit du lecteur le plus prévenu : c'est le caoutchouc de Colombie.

Exemple. — Sur le Guaviare et plusieurs de ses affluents, on récolte aussi du caoutchouc, et en quantité; ce caoutchouc n'est pas fumé. Eh bien ! quoique produit uniquement, comme au Para, comme dans l'Orénoque, *rien que par des Hevœa* il est d'une qualité très inférieure.

Il est blanc comme le caoutchouc de Madagascar, et en a toutes les propriétés de second ordre.

Bien que le *Ficus elastica* donne en principe un *caoutchouc* un peu inférieur à celui de l'Hevœa, nous pouvons affirmer cependant que, fumé ou antiseptisé, il gagne plus de cent pour cent.

Le Ficus elastica. — La preuve en est que dans l'Amazone et dans l'Orénoque les indigènes ne se privent pas parfois de piquer du *Ficus elastica*, lait qu'ils fument, bien entendu; et on leur prend leur caoutchouc comme du pur jus d'Hevœa; on a du reste raison. Nous avons vu des planches entières faites avec du Ficus même et avec une liane laiteuse très voisine; nous en avons fait nous-même. Nous aurions défié l'homme le plus expert en la matière de les reconnaître.

Les manufacturiers vont être donc fort étonnés en apprenant que dans les stocks qu'ils achètent provenant du Brésil, il leur arrive de payer comme du Para le plus pur un véritable caoutchouc de Madagascar, et qui sera presque aussi bon que du vrai Para, parce qu'il a été fumé.

L'antiseptie par le fumage. — Insistons sur ce point : si le Para est de beaucoup le premier caoutchouc du monde, *c'est surtout parce qu'il a été antiseptisé.*

Guidé par la pratique, l'Indien fait inconsciemment de l'antiseptie, et une excellente antiseptie, en introduisant, avec le noir de fumée, avec le charbon qui les y fixe et les y emmagasine, les gaz et les matières antiseptiques provenant de l'inflammation des coques ou des bois résineux qu'il emploie : créosote, phénols et benzols, toutes les huiles essentielles et empyreumatiques issues d'une sorte de distillation de goudron végétal, véritable et insaisissable *série aromatique.*

Historique du fumage. — Quel est le chimiste éminent qui, précurseur de notre école, devançant le grand Pasteur d'un nombre considérable d'années, a indiqué aux Indiens la mise en pratique de la loi des germes et des fermentations ? Cela est impossible à dire, car les Indiens l'ont vraisemblablement découverte seuls.

Lorsque La Condamine, au retour du Pérou, rapporta le premier du caoutchouc en Europe, en 1736, ce caoutchouc était-il noir ou blanc ? Ce point serait très intéressant à connaître, et nous le soumettons à la curiosité des fouilleurs de livres.

Quand, en 1837, l'Américain Charles Goodyear découvrit le soufrage et la vulcanisation du caoutchouc, il paraît certain qu'il opéra d'abord sur du caoutchouc noir.

Mais on ne savait pas à cette époque pourquoi l'on était en présence tantôt de caoutchouc noir, tantôt de caoutchouc blanc, bien qu'on en établit les différences de propriétés. On disait que le premier était un *secret* des Indiens; on ne soupçonnait pas que ce secret était le fumage tout simplement. Nous n'en voulons pour preuve que ces anciennes paroles de La Borde, dont nous soulignons les passages importants :

« *Mais ce suc* (le suc du Caoutchoutier) *ramassé à la façon des sauvages, épaissi par la seule évaporation et sans avoir été préparé à leur manière,* ne devient qu'une substance qui, semblable à la cire par quelques-unes de ses propriétés, se ramollit comme elle par la chaleur, s'étend sous les doigts qui la pétrissent (La

Borde ne confond-il pas ici avec la gutta?), et dont les fragments peuvent être ressoudés en les chauffant. Ce même suc, au contraire, *préparé par les sauvages*, devient une substance élastique, insoluble dans l'eau, et sur laquelle une chaleur modérée n'a point d'action. C'est dans cet état qu'elle est appelée *gomme élastique*.

« Les ouvrages faits de cette résine élastique sont sensibles à la moindre gelée, tandis que l'ardeur du soleil n'y fait aucune impression. Il serait a désirer qu'on put dérober aux Indiens le secret de préparer cette résine si singulière ».

Plus tard, lorsque le Français Truchon découvrit la grande forêt de caoutchouc du Haut-Orénoque et du Cassiquiare et enseigna aux Indiens à les reconnaître, il leur apprit la méthode du fumage connue sur l'Amazone depuis un temps qui paraît immémorial.

Quoi qu'il en soit, le procédé indien du fumage — sauf le temps employé — est parfait quant à ses résultats, car il procure :

1° *Coagulation rapide par la chaleur ;*

2° *Antiseptie prolongée par les fumées résineuses.*

VII. — Inconvénients de la méthode indienne

Mais cette méthode présente toute une série d'inconvénients qui nous ont bientôt frappé :

1° *Sa lenteur.* — Il faut plus de temps, avons-nous dit, pour préparer le lait que pour le récolter ;

2° *Les déchets.* — L'opération du fumage finie, il reste toujours, on l'a vu, une notable quantité de lait, sous forme de magma très impur, au fond du récipient ; magma seulement bon, même avec difficulté, à faire du cernambi. Plus l'Indien met de temps à fumer, c'est-à-dire plus il a recueilli de lait, et plus ces déchets augmentent par la coagulation continue du fond.

3° *Impossibilité de travailler avec la chaleur.* — L'Indien ne peut piquer que la matinée, et de très bonne heure ; à huit heures et demie, neuf heures au plus tard, il doit avoir fini. Sitôt que la chaleur arrive, le lait se coagule spontanément en partie, sinon en totalité, dans les petits récipients placés au pied de chaque arbre. Même si l'Indien piquait l'après-midi, c'est juste si quelques gouttes du lait, qui se coagule en route sous l'influence de la chaleur, pourraient tomber dans le récipient ; donc, moins de quatre heures de travail possible dans la journée. L'après-midi, l'Indien n'a rien à faire, que de dormir, chasser ou pêcher ;

4° *Impossibilité de travailler avec la pluie.* — S'il pleut pendant l'opération du piquage, tout le travail est perdu ; « no riende », comme disent les Indiens ; l'eau se mélange au lait dans les petits récipients, et alors le lait trop clair ne peut plus être fumé ; il s'écoule sur la palette sans se coaguler et tombe dans le feu. En vain essaye-t-on de protéger les récipients par des sortes d'auvents en branchages et larges feuilles ; la fureur des orages et la violence du vent, sous ces latitudes, enlèvent comme des fétus de paille les toits les plus laborieusement conditionnés. Aussi les indigènes préfèrent-ils d'ordinaire ne pas perdre de temps à ériger une construction qu'ils savent inutile. Or, les pluies sont très fréquentes et presque toujours diluviennes dans ces contrées, même dans la saison sèche, qui est *censée* commencer en novembre pour finir en avril ; le mot « saison sèche » est parfois un aimable euphémisme ; il y a évidemment une saison moins humide que l'autre, mais il ne faut pas croire qu'il reste plusieurs mois sans pleuvoir. Il y a même en général une petite saison des pluies, de la durée d'un mois, vers février, en pleine saison estivale. C'est ainsi qu'en 1888, dans l'Orénoque, tout le travail de février a été perdu, et qu'il a été impossible de piquer dès la deuxième quinzaine de mars, par suite d'averses incessantes. Il faut toujours tabler sur huit mois d'hivernage, donc à peine quatre mois de travail possible, sans compter les pluies intermittentes, alors que la constitution de l'Hevœa lui permettrait aisément de supporter un piquage continu de sept à huit mois par an.

VIII. — Notre méthode de préparation

Son principe. — Ayant vécu plusieurs mois de la vie des Indiens, connaissant leurs ressources intellectuelles et matérielles, au courant de leurs mœurs et de leurs usages, nous avons été frappé de ce fait qu'il fallait bien que la pratique si longue et si minutieuse du fumage fût reconnue par eux d'urgente nécessité pour avoir été conservée si longtemps, surtout après le contact d'Européens. En étudiant de près la composition de la fumée nécessaire nous n'avons pas tardé à

voir qu'*elle ne produisait autre chose qu'une bonne antiseptie.*

Nous savions aussi qu'à Madagascar, en particulier, on coagulait parfois le caoutchouc par des agents chimiques, mais, bien entendu, sans antiseptie. Cette question d'antiseptie, de beaucoup la plus importante, nous semble avoir toujours échappé à ceux qui ont fait des efforts pour produire un caoutchouc coagulé au moyen d'agents divers : on constatait que ce caoutchouc s'oxydait, et c'était tout.

Coaguler un lait, est, en effet, généralement, un jeu d'enfant, car la coagulation d'un corps à l'état liquide, mais solidifiable à la température normale, équivaut à une dessication, à une déshydratation de ce corps.

Nous cherchâmes donc :

1° Une coagulation instantanée, surtout pratique;

2° Une antiseptie tout aussi rapide, se continuant au moins pendant les huit mois que met toute planche à sécher, quel que soit le procédé par lequel on l'ait obtenue : nous conserverions évidemment à du caoutchouc ainsi fait toute la valeur du procédé indien.

1° *La coagulation.* — La première donnée du problème devait être résolue par l'emploi d'un corps remplissant le même but que la chaleur, puisqu'il était convenu en principe que nous renoncions à la chaleur à cause de ses inconvénients. Un corps avide d'eau, s'emparant de tout le véhicule devait résoudre la question; la recherche de ce corps était d'autant plus facile que le caoutchouc est un composé très stable, comme la plupart des hydrocarbures, sauf, nous le répétons, la facilité extrême avec laquelle il s'oxyde et s'intervertit en résine. Le caoutchouc résiste à la plupart des agents chimiques, des dissolvants ordinaires; il n'est guère attaquable que par *l'éther pur, les huiles volatiles, puis et surtout l'essence de térébenthine et celle de sassafras, la benzine, le sulfure de carbone, tous corps assez voisins;* et en général par toutes les huiles essentielles empyreumatiques rectifiées qui proviennent de la distillation des goudrons végétaux ou des goudrons de houille. Il résiste à presque tous les réactifs chimiques, même les plus violents et les plus corrosifs, tels que l'acide sulfurique, qui n'agit sur lui qu'à la longue et dans son état de concentration; il y a, cependant, une exception pour l'acide azotique, qui le décompose assez rapidement à chaud; toutes les bases sont sans action sur lui, ainsi que tous les sels hydrophiles ou absorbants : ces réactifs pouvaient donc être impunément mélangés au lait, et, vraisemblablement, sans lui faire perdre aucune de ses qualités.

Jusqu'ici, lorsqu'on voulait avoir du caoutchouc pur pour le laboratoire, on ne se servait guère que du procédé mécanique suivant : saturation du lait par le chlorure de sodium, qui se dissolvait dans l'eau et la rendait plus dense : le le caoutcouc, plus léger, venait alors surnager à la surface, où il était recueilli.

Parmi tous les corps hydratants, nous n'avions que l'embarras du choix : tous les sels déliquescents, tels que le *chlorure de calcium*, la *potasse*, la *soude et les sels de leurs oxydes;* l'*alcool;* et des *acides* divers, surtout *phénique*, *chlorhydrique* et *sulfurique*. Nous n'avions évidemment à chercher que parmi les corps peu coûteux, et encore fallait-il s'arrêter au meilleur marché de tous, et au plus pratique.

Lois. — Nous nous sommes immédiatement rendu compte que la loi était vraie, ou plutôt applicable, et qu'aucun facteur inconnu ne viendrait empêcher cette coagulation.

Pour certains de ces corps, ce facteur existe, sans que nous ayons pu jusqu'ici en trouver la raison; ainsi les acides *tartrique* et *citrique*, cependant préconisés, ce dernier surtout, qu'on emploierait, affirme-t-on, à Madagascar (?), bien que nous affirmions de notre côté qu'il ne coagule nullement le lait des Hévés; ainsi, encore les *sous-carbonates de potasse* et de *soude*, au sujet desquels également certains chimistes, ne se basant que sur la théorie de la déliquescence et ne l'ayant jamais appliquée au caoutchouc, ont prétendu le contraire, etc.

L'existence de ce facteur doit être très difficile à analyser : la coagulation du lait de la gutta en est un exemple.

La loi physique pour laquelle tous ces sucs laiteux doivent être coagulables par la déshydratation, vraie pour les caoutchoucs, l'est beaucoup moins pour les guttas. *La coagulation des laits de gutta ne peut être obtenue absolument que par la chaleur, par l'évaporation.* Ces laits résistent d'une façon complète aux agents les plus avides d'eau, tels que l'*acide sulfurique*, l'*alcool*, le *chlorure de calcium*. Ces laits contiennent, on le sait, une forte proportion de résine,

au lieu que le caoutchouc en contient fort peu; est-ce la présence de cette résine qui s'oppose à la coagulation *chimique?* c'est possible; la coagulation *physique* est la seule qui se puisse obtenir. Que se passe-t-il? nous ne le savons; mais, ce fait brutal est intéressant à noter : voilà deux latex très voisins, presque frères, et ils se comportent cependant, en présence d'agents chimiques, de tout autre façon.

Un autre facteur plus redoutable consistait dans cette facilité avec laquelle l'hydrocarbure-caoutchouc se dépolarise pour se polariser en hydrocarbure-résine. Nos coagulants chimiques n'allaient-ils pas, comme une pile, favoriser cette interversion? *A priori*, nous étions convaincu du contraire, puisque pour nous cette déséquilibration provenait précisément de l'absence d'antiseptiques, et uniquement de l'ensemencement de la planche par diverses bactéridies. Les faits, contrôlés par l'examen microscopique, nous l'ont bien prouvé, car l'emploi par nous d'antiseptiques a été couronné d'un plein succès.

Essais chimiques. — Le fait étant acquis, nous n'avions qu'à essayer d'abord nos coagulants; énumérons rapidement les plus importants que nous ayons expérimentés.

L'*alcool* coagule le lait d'Hevœa dans la proportion suivante : un volume d'alcool à 90° coagule six volumes de caoutchouc; la gomme fraîche ainsi obtenue est superbe, fine, d'une éclatante blancheur et ne jaunit pas en vieillissant, si on y a joint une faible quantité d'antiseptique; l'alcool est, du reste, lui-même antiseptique, en même temps qu'avide d'eau. Mais l'emploi de l'alcool n'est pas pratique, vu la cherté de ce produit et son faible pouvoir coagulant; on ne peut se contenter de la proportion insuffisante de un pour six.

Le *perchlorure de fer liquide* (solution de 30 de perchlorure anhydre pour 70 d'eau) coagule dans la proportion de neuf, en volume. Le caoutchouc ainsi obtenu est vilain à l'œil, d'un jaune brunâtre; il se présente sous forme de poussière dont les molécules ont peu de cohésion les unes pour les autres; on dirait de la terre arable. — Comme tous les caoutchoucs obtenues par n'importe quel procédé, — *ceci dit une fois pour toutes* —, il se dissout dans les huiles essentielles de la série aromatique et dans le sulfure de carbone.

Le *bichlorure de mercure;* un volume de solution alcolisée de sublimé à 1/10 coagule onze volumes de lait et donne un caoutchouc très beau; nous verrons un peu plus bas pourquoi il est impossible, dans l'état actuel de l'industrie, de conserver le sublimé corrosif; et c'est bien regrettable, car il est un bon coagulant et surtout un antiseptique d'une extrême puissance.

Le *chlorure de calcium;* un volume de chlorure de calcium coagule quinze volumes de lait. Malheureusement, il est très difficile de bien conserver ce sel à l'état sec, dans ces régions toujours saturées d'humidité.

L'*acide chlorhydrique monohydraté* a un pouvoir coagulant de un pour cinq.

L'*acide azotique* a un pouvoir encore plus faible, et agit en outre sur la fibre du caoutchouc, qu'il dissocie.

L'*acide phénique* du commerce (non cristallisé, impur, a un pouvoir coagulant de un pour dix-huit.

La *teinture d'iode* ne paraît guère coaguler que par l'alcool, qui est son véhicule.

Les autres réactifs ne coagulent nullement, au moins tous ceux que nous avions sous la main : tels que *carbonates et sous-carbonates alcalins, ammoniaque*, *chlorure de sodium* (on a prétendu le contraire), *de potassium, bicarbonate de soude*, *bromures et iodures de potassium*, *d'ammonium, de sodium*, *hypophosphites, sels de mercure (sauf le sublimé); éther, chloroforme*, *collodion*, *huiles essentielles, essences de térébenthine et de sassafras*, *sulfure de carbone*, *huiles grasses, savons, glycérine*, *sels de phosphore*, *permanganate de potasse, acide arsénieux, tous les alcaloïdes,* etc.

L'acide sulfurique. — Mais voici le plus merveilleux des coagulants, le coagulant par excellence, celui qui doit constituer la méthode d'élection, l'*acide sulfurique;* en même temps qu'il est antiseptique aussi, le milieu acide s'opposant à l'éclosion de la plupart des micro-organismes, *un* volume de cet acide trihydraté (c'est-à-dire celui du commerce) coagule instantanément *cinquante-cinq* volumes de lait d'Hevœa. Une solution aqueuse de cet acide au 1/50 coagule immédiatement dix fois son volume de lait; même dilué au 1/100, son pouvoir coagulant existe encore, mais déjà assez faiblement; cependant on arrive à coaguler à ce titre, très lentement, il est vrai, et en agitant beaucoup.

Insuffisance de l'acide sulfurique employé seul.

— Nous nous arrêtâmes donc à l'emploi si pratique, si peu coûteux, si rapide, de l'acide sulfurique.

Nous pensions au début qu'il pourrait nous tenir également lieu d'antiseptique, ou tout au moins assurer l'aseptie. Mais nous ne tardâmes pas à nous convaincre qu'il était insuffisant : en effet, l'acide sulfurique, par cela même qu'il est un acide puissant, protège bien la planche des fermentations pendant quelques semaines, tant qu'il existe lui-même dans cette planche. Mais précisément son avidité remarquable de l'eau, qui lui a permis de coaguler si vite et si bien, va nous gêner pour assurer une certaine continuation dans l'aseptie; cet acide s'hydrate à l'infini, tant qu'il trouve dans la planche ou dans atmosphère une molécule d'eau, il faut qu'il s'en empare, au point qu'il finit lui-même par être débordé, englouti, et par disparaître complètement : aussi, au bout de quinze à vingt jours, des planches ainsi faites, commencent-elles à devenir neutres, sans être sèches, et plus tard, leur surface et leurs vacuoles sont tout à fait alcalines, ramenant au bleu le tournesol rougi.

Sur des planches obtenues par ce procédé, nous ne tardâmes pas à reconnaître à la surface, se localisant principalement dans ses replis et inégalités, une moisissure verdâtre, qui apparaissait déjà au bout de huit à dix jours, en des points plus en contact avec l'air, c'est-à-dire plutôt alcalins; c'étaient des mycelium et des algues; ces végétations gagnaient petit à petit la surface entière, et les bulles d'air, emprisonnées à l'intérieur, — il est impossible, avons-nous dit, qu'il n'y ait plus ou moins d'air dans l'intérieur de la planche — en avaient leurs parois tapissées.

En même temps, nous constations la formation et la naissance d'éléments figurés divers, spores et diverses espèces de bactéries; certains de ces éléments étaient en chapelet, avec un centre clair. Nous en cultivâmes sur la gélose et la pomme de terre. Mais, manquant d'instruments dans ce premier voyage, ayant perdu notre plus fort objectif, pressé par le temps, puis atteint par la malaria, nous ne pûmes conclure, ni indiquer un agent de fermentation bien spécial.

Cependant notre conviction était faite : les planches neutres étaient un excellent terrain de culture pour une quantité de micro-organismes : *elles s'étaient oxydées.*

Plus tard même, des insectes visibles à la loupe naquirent et pullulèrent sur ces planches. Donc, à côté des insectes et des cryptogames, des bachéries et des spores colonisaient : la vie animale et la vie végétale, infiniment petite, attaquaient nos planches, vie parasitaire qui obtint son maximum de développement au bout d'un mois, puis resta stationnaire. Elle disparaissait si nous plongions ces planches dans l'eau bouillante, puis reparaissait rapidement. Nous les trempâmes alors dans des bains de sublimé : la surface en resta stérile, mais la colonisation continua au sein de la planche, partout où s'étaient insinuées des vésicules d'air pendant l'opération de la coagulation, et où ne pouvait atteindre le sublimé.

Pour corroborer ces expériences, nous prions les industriels entre les mains desquels tomberont ces lignes, de donner à un histologiste des fragments de caoutchouc fumé et de caoutchouc quelconque non fumé, colombien, péruvien ou africain, et de lui demander son avis quant à la présence des diverses colonies.

2° *L'antiseptie scientifique du caoutchouc : l'acide phénique.* — L'emploi d'un véritable désinfectant nous parut donc imposé. Après des essais, cependant concluants et nous donnant un caoutchouc vraiment remarquable, très beau, très stable, très solide, nous dûmes écarter le plus puissant de tous, le bichlorure de mercure. Certes, en Europe, on se précipiterait une première fois sur un caoutchouc ainsi produit, car, par ses brillantes qualités, il est le plus magnifique que nous ayons réussi à faire, mais il est probable que les usiniers ne voudraient pas recommencer deux fois l'expérience; car, en outre que sa manipulation ne serait pas sans danger d'intoxication, puisque la vapeur y joue un grand rôle, il est également certain que les chambres et appareils métalliques dans lesquels on le traite seraient promptement détériorés. Des inconvénients de toute nature nous paraissent donc s'opposer à l'antiseptie du caoutchouc par les sels hydrargyriques.

Après l'essai d'autres susbtances, entre autres les dérivés salicyliques, la créosote, la crésyline, etc., dont la description nous entraînerait hors du cadre imposé à ce travail, nous nous arrêtâmes à la plus banale, à la plus vieille en

date dans l'application de l'antiseptie : au phénol, qui, outre son pouvoir antiseptique, a aussi une certaine puissance coagulatrice, puissance trop faible, nous l'avons vu, pour qu'on puisse utiliser le phénol seul.

Ayant l'antiseptique choisi, l'acide phénique, et le coagulant par excellence, l'acide sulfurique, nous fûmes conduit à mélanger ces deux acides dans l'acte lui-même de la coagulation.

Conséquences. — Au bout de six mois, on trouve encore dans des planches ainsi faites des traces phéniques suffisantes pour continuer la stérilisation; plus tard seulement elles disparaissent complètement de la surface. mais la déshydratation est alors complète, la fermentation n'est plus à craindre à la surface, tandis qu'à l'intérieur, dans les vacuoles et leurs diverticula, on trouve presque indéfiniment emprisonnées des vapeurs phéniques.

L'emploi du charbon, comme dans la méthode indienne, était donc inutile. Nous allons du reste y revenir, en indiquant une manière d'imiter à s'y méprendre le *caoutchouc indien.*

FORMULE DE NOTRE MÉTHODE.

Après une longue série d'épreuves, nous nous arrêtâmes à la formule industrielle suivante :

Solution A.	Acide phénique du commerce.....	4 gr.
	Alcool, quantité suffisante pour dissoudre.	
	Eau bouillie.....	80 gr.
	Donc, solution à 1/20.	
Solution B.	Acide sulfurique du commerce..	2 gr.
	Eau bouillie.....	20 gr.
	Donc, solution à 1/10.	

Mélanger les deux solutions A et B. (Aucun danger.)

(L'ébullition a plutôt pour but de chasser l'air que de stériliser l'eau pour de pareilles solutions; on le comprend).

Cette quantité de ce mélange coagule instantanément, par une légère agitation, un litre de lait.

Une solution mixte de 1/60 pour le premier acide et de 1/32 pour le second est même suffisante en temps ordinaire; mais il faut tenir compte de l'heure à laquelle se fait le travail, de la température, de l'état hygrométrique de l'air, qui ont une influence incontestable. Certains jours en effet, avec cette deuxième solution, nous coagulions plus péniblement que certains autres. Il est donc plus sage de ne mettre entre les mains des travailleurs que les solutions un peu fortes, A et B, indiquées plus haut.

Un tour de main particulier, et qu'on n'attrape pas toujours du premier coup, est indispensable. C'est ainsi qu'ayant confié à un gros entrepreneur de caoutchouc dans le Cassiquiare deux cents litres de solution forte, c'est-à-dire, une quantité suffisante pour produire une tonne et demie de caoutchouc, nous vîmes cet entrepreneur nous revenir trois mois après, avec seulement une soixantaine de kilos d'un vilain caoutchouc, tout boursouflé; et le maladroit avait dû employer toute sa solution! Au lieu que les Indiens avec lesquels nous avions vécu, et que nous avions initiés, continuaient à produire un caoutchouc superbe, un litre de notre solution coagulant entre leurs mains dix litres de lait. Nous produisîmes ainsi plusieurs cen-

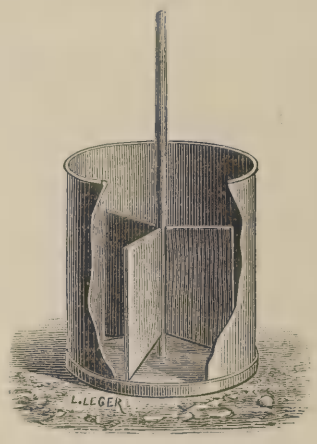


Fig. 6. — Agitateur du Dr L. Morisse.

taines de kilos de caoutchouc, qui fut revendu en Europe pour du vrai Para, première qualité.

Cependant ce tour de main est très simple et n'offre aucune difficulté : *il suffit d'avoir vu faire.*

Il faut, en particulier, agiter le moins possible, seulement assez pour mélanger intimement le lait et la solution, en évitant avec soin *de faire mousser*. Aussi, le meilleur moyen consiste-t-il dans l'emploi de trois planchettes se croisant à angle droit; leur centre est composé d'un long manche de bois mince et très rond qu'on fait lentement tourner entre les deux mains accolées l'une à l'autre; c'est une variété trivalve de l'agitateur connu aux colonies sous le nom de *bâton lélée*, qui joue un grand rôle dans la confection du *punch-colonial* (fig. 6).

Dr LUCIEN MORISSE.

(*A suivre.*)

CORRESPONDANCE

La Haye, 6 février 1893.

Monsieur le Directeur,

Dans le nº 5 de votre journal, p. 237, vous publiez un extrait d'une communication de M. H.-J. Ryan à *Electrical Engineer*, concernant une méthode de compensation de la réaction d'induit qui aurait été inventée vers 1886. Permettez-moi de vous dire qu'elle date de plus loin, car j'ai breveté cette méthode en Allemagne le 6 décembre 1884, brevet nº 34465 « Anordnung von Kompensationswickelungen zu den Ankerwickelungen bei elektrischen Maschinen », et en France, le 10 janvier 1885, brevet nº 166363. Dans ces brevets j'ai indiqué non seulement l'emploi des bobines de compensation sur les pièces polaires, mais aussi différentes autres dispositions. J'ai décrit l'arrangement de ces bobines pour les dynamos usuelles, pour des formes spéciales d'inducteurs et pour un induit particulier dont le fonctionnement régulier dépend des bobines de compensation.

Veuillez agréer, etc.

C.-L.-R.-E. Menges.

FAITS DIVERS

Nous avons le regret d'annoncer à nos lecteurs la mort de M. Van Rysselberghe. Le nom de l'éminent électricien belge est attaché à l'invention du système bien connu de télégraphie et de téléphonie simultanées par le même fil.

M. Van Rysselberghe n'était âgé que de quarante-six ans. On sait qu'il s'était occupé tout récemment de l'installation d'une distribution hydro-électrique à Anvers, et de l'éclairage électrique d'Ostende.

Le Bureau de contrôle des installations électriques créé par la Chambre syndicale des industries électriques a été placé sous la direction de M. R.-V. Picou, le sympathique ingénieur.

Les statuts provisoires de cette institution comportent les articles suivants, adoptés dans la séance du 10 janvier dernier :

I. Il est créé, sous le patronage de la Chambre syndicale des industries électriques, un bureau de contrôle des installations électriques.

II. Le but de cette institution est de :

1º Assurer périodiquement, pour le compte de ses adhérents, le contrôle de leurs installations en fonction, de façon à empêcher que des détériorations n'en compromettent incidemment la sécurité;

2º Procéder, sur la requête de tout intéressé, à la vérification des installations;

3º Centraliser tous les renseignements techniques, commerciaux, juridiques ou administratifs, relatifs aux installations, stations centrales ou autres entreprises d'électricité.

III. Le directeur du bureau de contrôle est nommé par la Chambre syndicale, mais conserve son entière indépendance, tant pour le choix et la direction du personnel sous ses ordres, que pour la conduite des travaux du bureau, dont il assume la responsabilité, la Chambre syndicale restant étrangère à ces travaux.

IV. Tous les ans, le budget du bureau de contrôle est présenté par le directeur à la Chambre syndicale qui le discute et l'approuve.

V. Les recettes du bureau se composent des abonnements pour contrôle, du produit des taxes perçues, suivant tarif, et des subventions de la Chambre syndicale.

VI. Le tarif des abonnements et des taxes à appliquer est arrêté par la Chambre, sur la proposition du directeur du bureau et revisable à chaque fin d'exercice. Il en est de même du règlement général du bureau.

VII. Le directeur du bureau s'interdit de faire acte d'entrepreneur ou de fabricant et d'accepter un intérêt quelconque dans une entreprise d'installation ou de construction d'appareillage électrique.

A propos de ce dernier article des conditions spéciales seront faites à M. Picou. Nous ne pouvons que féliciter la Chambre syndicale d'avoir choisi pour diriger le bureau de contrôle une personnalité dont la compétence donnera à la nouvelle institution une autorité considérable en matière industrielle.

La municipalité de Strasbourg a fait étudier par M. von Miller plusieurs projets pour l'établissement d'une station centrale de distribution d'éclairage électrique et de force motrice. M. von Miller recommande l'emploi de courants alternatifs; l'usine serait située à 4 kilomètres de la ville, sur le Rhin, dont elle utiliserait la puissance hydraulique. Toutefois le projet prévoit l'emploi de machines à vapeur et conseille l'utilisation de la force motrice du Rhin pour le cas où, comme on peut le prévoir, la petite industrie adopterait des moteurs électriques.

L'installation provisoire comprendra trois machines à vapeur de 400 à 500 chevaux. D'après les réponses faites au questionnaire qu'a fait circuler la municipalité, on atteindrait assez rapidement une consommation équivalant à 30 000 lampes de 16 bougies. D'autre part, si la Compagnie des Tramways adoptait la traction électrique, il y aurait 400 chevaux supplémentaires à fournir.

Une intéressante installation de transmission électrique de l'énergie est à l'étude aux mines de Vicoigne (Pas-de-Calais); des projets ont été demandés aux principales maisons d'électricité. Une usine centrale placée à plus de 4 kilomètres de la mine devra alimenter un certain nombre de pompes munies chacune d'un moteur de cinq chevaux et placées au fond de la mine. De plus, il y aurait à actionner cinq treuils de 6 à 15 chevaux. Enfin, la traction électrique sera appliquée pour le traînage par des locomotives de 12 chevaux et l'éclairage électrique sera assuré par une trentaine de lampes à arc et 200 lampes à incandescence.

Poursuivant ses recherches sur le sulfure de zinc phosphorescent, M. Charles Henry a étudié cette matière au point de vue de son emploi comme étalon photométrique.

La conclusion de cette étude est que, dans des limites assez étendues et conséquemment dans des conditions faciles à réaliser, qui correspondent à la saturation lumineuse, la quantité de lumière émise par le sulfure de zinc phosphorescent, à un instant donné, est indépendante de la distance du magnésium qui a servi à l'illuminer, indépendante du temps d'illumination, indépendante de l'épaisseur de la couche du sulfure ; en un mot, le sulfure de zinc phosphorescent présente au plus haut degré les caractères que l'on exige d'un étalon photométrique secondaire.

La Compagnie des mines de Marles a fait installer par la Compagnie Edison une transmission de force électrique. Des dynamos placées au dehors envoient par câbles leur courant à une locomotive électrique capable de traîner quinze berlines à la vitesse de 4 mètres par seconde. Cette installation réalise une grande amélioration dans le transport des ouvriers et des matériaux.

La Société alsacienne de Belfort construit pour les docks de Marseille une machine à vapeur Armington et Sims avec dynamo. Si nous sommes bien renseignés, cette machine servira à alimenter un moteur actionnant une grande vis sans fin pour décharger les grains. Il paraît qu'en 20 heures cet appareil permet de décharger un navire de 2000 tonnes.

Éclairage électrique.

Un correspondant nous donne quelques renseignements intéressants relatifs aux brevets Edison sur la lampe à incandescence.

La question de la lampe à incandescence est actuellement celle qui passionne le monde des électriciens aux Etats-Unis. La contenance que prend la compagnie Edison vis-à-vis des industriels est à deux faces. Tandis que dans les journaux elle annonce qu'elle est toute prête à s'entendre à l'amiable avec les intéressés, elle ne montre pas dans la pratique ces dispositions généreuses.

Les injonctions adressées aux fabricants ont naturellement chassé les clients de ceux-ci dans le giron de la compagnie Edison. Dans l'Illinois, en particulier, c'est la Chicago Edison Company qui s'est chargée des poursuites à exercer. Plusieurs compagnies opposantes, dont les stations fonctionnent avec des dynamos Thomson-Houston, se trouvent par ce fait même placées du côté du manche, puisque la General Electric Company représente à la fois les intérêts Edison et Thomson-Houston. Mais il y a à Chicago une usine centrale, la « Calhoun Station », appartenant à la National Electric Construction Company, qui se trouve isolée dans la lutte et que l'Edison C° considère comme un ennemi déclaré.

Cette compagnie a récemment « réquisitionné » auprès de la compagnie Edison un certain nombre de lampes à incandescence pour lesquelles elle offrait le prix moyen du marché; or, elle essuya un refus. Une plainte fut déposée en même temps qu'une requête pour qu'on obligeât les agents de la lampe Edison à vendre des lampes. Le cas est venu le 25 janvier entre les mains du même juge (M. Grosscuth) qui avait autorisé les poursuites contre les fabricants.

Le plaignant faisait valoir que la National Electric Construction Company avait acheté des lampes à neuf fabricants différents, dont cinq étaient poursuivis, un autre menacé de poursuites; l'un dépendait de la General C°, un autre fabriquait une lampe sans valeur; enfin la compagnie Edison, qui refusait de vendre à la compagnie, mais prétendait vendre directement aux clients de cette compagnie. Le juge conseilla de faire l'inventaire des lampes immédiatement nécessaires et de s'adresser derechef à la compagnie Edison; dans le cas où celle-ci répondrait par un nouveau refus de vendre, le juge aviserait aux mesures à prendre. Voilà où en sont les affaires en ce moment; on considère que dans ce cas particulier la victoire reste aux « outsiders ».

Depuis quelques jours on fait circuler en Amérique une histoire quelque peu romanesque, qui, si elle a quelque fondement, prouverait que la lampe à incandescence à filament de bambou carbonisé aurait été inventée dès 1859. D'après ce racontar, mis en circulation par M. Franklin L. Pope, on pouvait voir, il y a une trentaine d'années, dans les rues de New-York, un Allemand du nom de Goebel dont l'industrie consistait à faire contempler aux passants les beautés du firmament au moyen d'un immense télescope qu'il promenait sur une voiture. Quand le public était fatigué de regarder les étoiles, le bonhomme illuminait son char au moyen de plusieurs petits globes de verre qui excitaient beaucoup la curiosité et qui n'étaient autre chose que des lampes à incandescence. Tout dans cet observatoire ambulant avait été construit par Goebel lui-même, depuis les lentilles du

télescope jusqu'aux piles et aux lampes à incandescence.

Il paraît qu'une trentaine de témoins sont prêts à certifier que cette histoire est conforme à la vérité et que la lampe en question était non seulement constituée par un filament de bambou carbonisé, mais encore que Goebel y faisait le vide en la remplissant de mercure et en la renversant avec un long tube sur une cuve à mercure. Le vide barométrique établi, la lampe était scellée. Des spécimens de cette lampe fabriqués en 1859 ont été conservés. La cour des Etats-Unis (juge Colt) s'occupe actuellement de cette affaire qui, si on lui accorde créance, annulerait le brevet Edison et le ferait tomber dans le domaine public.

Dans le camp Westinghouse on annonce l'arrivée à Chicago de 10 000 lampes du nouveau modèle destinées à l'Exposition universelle.

Un certain nombre de lampes portant la marque d'une maison allemande bien connue ont été reçues à Chicago. Il paraît qu'elles sont fabriquées à la faveur d'une licence accordée par la compagnie Edison européenne, et la vente ne peut pas en être empêchée en Amérique. Si donc la General Electric C° veut conserver le monopole aux Etats-Unis, il faut qu'elle rachète toutes les licences accordées en Europe.

Pour consolider ce monopole, les intéressés méditent d'acquérir la station centrale de la Chicago Arc and Power Company, qui alimente 2000 lampes à arc, des lampes à incandescence et un grand nombre de moteurs et qui a seule le droit de poser des conducteurs souterrains. Si cette amalgamation réussit, il n'y aura plus de salut en dehors de la General Electric Company; mais on croit que celle-ci n'a recours en ce moment à des moyens aussi énergiques que pour arriver finalement à un compromis général lui assurant d'avantageuses « royalties » ou redevances.

En Amérique comme en France, les municipalités ont de la peine à comprendre que l'éclairage public est une lourde charge, inacceptable lorsque l'éclairage privé n'offre pas une rénumération suffisante. Il est pourtant facile de s'en rendre compte, et nous en avons la preuve à Paris, où l'éclairage électrique de la rive gauche se fait attendre depuis plus de trois ans, parce que la clientèle y est trop clairsemée.

La question de prix joue évidemment un grand rôle; mais pourquoi les compagnies supportent-elles toujours les sacrifices? Pourquoi les municipalités, pourquoi les abonnés s'indignent-ils lorsqu'on leur demande une rémunération conforme aux traités ou justifiée par les conditions de l'exploitation?

Pour produire le carcel, par exemple, vous trouverez dans les lampes à pétrole des différences de consommation considérables; avec les lampes à incandescence électrique, on va de 2,75 à 4 watts et même davantage par bougie; avec le gaz, entre 40 et 140 litres, il y a de la marge. Ces chiffres s'appliquent à des foyers lumineux utilisables à l'intérieur des habitations : leur seul inconvénient est d'exiger un peu plus de soins que les brûleurs ordinaires, et on ne veut pas s'imposer cette peine. Actuellement, nous voyons se multiplier autour de nous les installations du bec Auer, qui donne la carcel pour 25 litres, si nous sommes exactement renseignés. C'est un abaissement de 75 o/o du prix du gaz; ne fût-il que de moitié ou même du tiers, c'est plus encore que ne prétendait faire le Conseil municipal. S'agit-il de moteurs à gaz, ceux-ci donnent le cheval-heure pour 550 à 600 litres; il y a là une diminuation de dépense de 40 o/o, et les vœux du Conseil municipal sont dépassés. Ces économies, le public est en mesure d'en profiter, si tel est toutefois son bon plaisir : s'il aime mieux ne pas changer ses habitudes, pourquoi prétend-il faire changer celles de ses fournisseurs, sans offrir d'ailleurs à ceux-ci la moindre compensation?

Pétrole, électricité, gaz, tout est trop cher au gré du consommateur.

Ces réflexions sont empruntées à la *Revue industrielle*.

Les rapports déposés périodiquement au Conseil municipal sur le fonctionnement de l'usine d'électricité des Halles ne permettent pas jusqu'ici d'avoir une opinion favorable sur cet établissement municipal. Espérons que diverses améliorations apportées dans le service technique et les changements survenus dans le personnel concourront à produire bientôt des résultats plus satisfaisants.

Le rapport de M. Lyon-Alemand signale à nouveau ce fait regrettable que l'éclairage privé donne une perte mal compensée par un bénéfice illusoire sur l'éclairage public, et que la Ville vend le kilowatt-heure 0,58 fr. aux abonnés, alors qu'elle se le paye à elle-même 0,761 fr.

Cette anomalie résulte du forfait fort onéreux qui a été passé avec la Belle-Jardinière, et dont cet établissement abuse en absorbant des quantités d'énergie supérieures à celles qu'on doit lui livrer. En réalité, les abonnés payent 1,22 fr. le kilowatt-heure, ce qui est un prix sensiblement égal à celui des secteurs. La Belle-Jardinière est censée payer 0,45 fr. et paie très probablement beaucoup moins à cause de l'excès de consommation dont nous parlons plus haut.

Pour faire cesser cet abus, l'Administration a acquis des compteurs, et elle est d'avis de dénoncer le plus tôt possible le traité si désavantageux avec la Belle-Jardinière.

L'usine des Halles a eu à enregistrer depuis sa fondation un nombre d'accidents tout à fait anormal. Le dernier est arrivé à une machine Ferranti qui a sauté, fort heureusement sans accident pour le personnel. C'est à cet état de choses que le rapporteur attribue l'augmentation notable du prix de revient de l'énergie électrique. Ce prix de revient a été, en effet, très élevé pendant le

premier semestre de 1892, puisqu'il monte à 0,44 fr. le kilowatt-heure au lieu de 0.35 fr. pendant la période correspondante de 1891.

Une modification importante dans cette usine consiste dans l'installation d'une batterie d'accumulateurs. Voici ce que nous apprend à ce propos le rapport :

Fournie par la Société des métaux, la batterie des accumulateurs en cours d'installation à l'usine des Halles se compose de 134 éléments constitués chacun par 11 plaques de 800 sur 400 sur 6 millimètres et présentant une capacité de 2000 ampères-heure. D'après le marché approuvé par le Conseil municipal il ne devait y avoir que 9 plaques; mais la Société a demandé à porter ce nombre à 11 à ses risques et périls. Cette autorisation lui a été accordée à titre provisoire, toutes réserves étant faites sur l'avenir. Ces 134 éléments sont divisés en deux demi-batteries de 67 éléments alimentant chacune un des circuits de la distribution à trois fils. Le régime de charge est compris entre 200 et 220 ampères; le régime de décharge normal, pour lequel est garanti un rendement en énergie de 70 à 75 o/o, est de 280 ampères, mais peut être porté à 400 ampères dans des circonstances exceptionnelles.

La puissance normale de la batterie est donc de 70 kilowatts environ.

Ces bases sont suffisamment grandes pour que le nombre de plaques puisse être porté plus tard, si besoin est, à 19; la puissance sera ainsi portée à 150 kilowatts environ.

Les plaques sont du nouveau type de la Société du travail électrique des métaux; leur fabrication a été particulièrement soignée, ce qui a retardé les travaux de montage jusqu'au mois de septembre. Ils sont aujourd'hui à peu près terminés; cependant une question est encore réservée, celle du nombre des éléments qui seront mis en réduction à la décharge. Le nombre prévu par l'Administation est de 34; l'entrepreneur n'en a disposé que 20. Il est entendu qu'il exécutera la modification si elle est reconnue nécessaire.

La Société a décidé aussi d'apporter un nouveau perfectionnement. Au lieu de reposer dans le fond des bacs, les plaques seront suspendues de façon à pouvoir se dilater, si besoin était, et à éviter tout gondolement.

Les travaux restant à faire sont de peu d'importance, et la batterie est en service provisoire depuis le 18 octobre dernier. Quoique le régime d'équilibre définitif de la batterie ne soit pas encore atteint complètement, on peut déjà constater les excellents résultats obtenus par cette installation.

Le diagramme donnant les quantités comparées de charbon consommé à l'usine en 1891 et 1892 indique nettement le meilleur régime que possède aujourd'hui l'usine des Halles. Au lieu d'une consommation de 130 et 150 tonnes par semaine, on est descendu à 90 tonnes.

Télégraphie et Téléphonie.

On a commencé il y a quelques jours la pose du câble télégraphique sous-marin qui doit relier Marseille à Tunis. Ce câble a été fabriqué en France, à l'usine de Saint-Tropez, qui appartient à la Compagnie Grammont. Commencé le 15 octobre 1892, il a été achevé le 3 janvier 1893. Les travaux ont occupé deux cent cinquante ouvriers par jour.

La longueur du câble, dit la *Revue des postes et télégraphes* est de 1158 kilomètres et sa valeur de 2650000 francs.

C'est le steamer *Calabria*, appartenant à une compagnie télégraphique anglaise, qui est chargé de la pose du câble à travers la Méditerranée. L'opération est délicate; à certains endroits le fond de la mer se creuse en abîmes et les sondages ont donné jusqu'à 2600 mètres de profondeur. L'immersion a lieu à raison de 100 kilomètres par jour.

Le câble part de Marseille même. Le poste d'attache est une guérite placée sur la plage du Prado, près de l'établissement de bains du Roucas Blanc, au-dessous du château Talabot. Il viendra s'attacher en rade de la Goulette, se prolongera en ligne souterraine jusqu'au lac de Tunis, traversera les quatorze kilomètres du lac et, par une voie souterraine, ira s'accrocher au poste principal du réseau, à Tunis.

Désormais, nos télégrammes à destination de la Tunisie n'emprunteront que des voies françaises, en même temps qu'une plus grande rapidité de transmission leur sera assurée.

La ligne télégraphique installée l'été dernier pour relier l'Andorre à la France donne d'excellents résultats Aussi le gouvernement français se préoccupe-t-il de prolonger cette ligne et d'installer un nouveau poste télégraphique à San Julia de Loria, village situé à six kilomètres environ d'Andorre-la-Vieille, sur la limite extrême de l'Andorre, près de la Seo de Urgell. San Julia est un centre très actif et fait un grand commerce avec la ville espagnole de la Seo d'Urgell, dont l'évêque partage avec la France la suzeraineté de l'Andorre. La continuation de la ligne télégraphique se fera l'an prochain.

Le gouvernement français entamera ensuite des pourparlers avec le gouvernement espagnol pour relier San-Julia à la Seo de Urgell : de cette façon, la France pourra être reliée par une nouvelle ligne télégraphique avec le centre de l'Espagne en passant par Toulouse, Bourg-Madame et l'Andorre.

Imprimeur-Gérant : V. Nory.

Imprimerie de La Lumière Électrique. — Paris
31, boulevard des Italiens.

La Lumière Électrique

Journal universel d'Électricité

31, Boulevard des Italiens, Paris

DIRECTEUR : Dr CORNÉLIUS HERZ

XVe ANNÉE (TOME XLVII) SAMEDI 25 FÉVRIER 1893 N° 8

SOMMAIRE. — Les installations de transport et de distribution de force par l'électricité, à Gênes; J.-P. Anney. — Applications mécaniques de l'électricité; Gustave Richard. — A propos du nouveau moteur à courants alternatifs de E. Brown; Hutin et Leblanc. — Sonnerie et signal à détonation de C. et E. Fein: E. Zetzsche. — L'électricité et la végétation; Frank Géraldy. — Chronique et revue de la presse industrielle : Wattmètre différentiel pour courants alternatifs, par A.-E. Kennelly. — Les feux d'artifice électriques. — La nouvelle lampe Westinghouse. — Machine à courant continu sans collecteur de Bernstein, par M. E. Venezian. — Coupe-circuit multiple Pattison. — Raccordement Purcell. — La station municipale d'électricité de Trente. — Revue des travaux récents en électricité : Un problème relatif à la fréquence des courants alternatifs, par M. E. Arnold. — Recherches expérimentales sur les transformateurs à courants alternatifs, par M. J.-A. Fleming. — Influence de la fréquence dans le fonctionnement des transformateurs, par Ch.-P. Steinmetz. — Faits divers.

LES INSTALLATIONS DE TRANSPORT ET DE DISTRIBUTION DE FORCE PAR L'ÉLECTRICITÉ A GÊNES

La Société de l'Acquedotto de Ferrari-Galliera s'est constituée en vue de fournir l'eau ainsi que la force motrice hydraulique aux habitants et industriels de la ville de Gênes.

Dans ce but, elle a capté dans les montagnes voisines un certain nombre de sources alimentant de vastes réservoirs ou lacs créés en barrant entièrement une vallée. Ces réservoirs ont été édifiés à 30 kilomètres de Gênes, à une hauteur de 550 mètres environ au-dessus de la mer, et sont capables de fournir un débit de 500 litres environ à la seconde. Comme il était impossible d'utiliser industriellement une aussi forte chute, il a été établi trois réservoirs intermédiaires produisant une rupture de charge et réduisant à 180 mètres la hauteur de chute utilisable à Gênes.

Le premier réservoir est à 112 mètres au-dessous du débouché d'un tunnel qui amène les eaux piémontaises sur le versant ligurien, sur lequel se trouvent construites les usines génératrices d'électricité.

Le travail brut disponible au premier réservoir est donc de $112 \times 500 = 55\,000$ kilogrammètres, ou 746 chevaux.

Le deuxième réservoir est à 108 mètres au-dessous du premier; la force brute disponible est donc de 720 chevaux.

Le troisième réservoir est à 144 mètres au-dessous du deuxième. On y dispose de 72 000 kilogrammètres, ou 960 chevaux.

Le problème posé aux électriciens par la Société l'Acquedotto di Ferrari-Galliera était de transporter et distribuer économiquement cette puissance.

La distance de la force génératrice jusqu'aux moteurs les plus éloignés était évaluée à 30 kilomètres environ.

Tous les moteurs, absolument indépendants les uns des autres, devaient être pratiques et robustes, de telle sorte qu'ils pussent être abandonnés à eux-mêmes une fois mis en marche. La régularité de marche devait être parfaite et ne donner lieu à aucun inconvénient, même dans les cas les plus difficiles.

L'ingénieur-conseil de la Société de l'Acquedotto, M. Alberto Preve, pensa avec raison que l'on pourrait avantageusement tirer parti du mode de distribution dit « en série », déjà employé avec succès par les Américains pour l'éclairage de villes très étendues. Il est vrai que jusqu'alors on n'avait jamais pu se servir

de ce système pour la distribution de la force, sauf cependant pour de très petits moteurs, de forces inférieures à un cheval. Attribuant ces insuccès, à juste titre, à certains défauts de construction des appareils, il se mit courageusement à l'œuvre, de concert avec les prédécesseurs de la Compagnie de l'Industrie électrique de Genève, auxquels il fit exécuter, pour le compte de la Société de l'Acquedotto, toutes les machines et appareils nécessaires à un premier essai industriel, et qu'il installa lui-même dans le courant de l'année 1889.

Cette première installation ne comprenait qu'une seule unité génératrice de 140 chevaux, installée dans la première station, appelée Galvani et située près d'Isoverde.

Cette installation d'essai donna de si favorables résultats qu'après un exercice d'un an la Société se décida définitivement à utiliser les deux autres chutes et construisit deux belles usines génératrices, avec tout l'agencement nécessaire pour assurer un service régulier et sûr, soit de la force motrice, soit du service hydraulique.

Ces deux stations ont été baptisées, la supérieure du nom de Pacinotti (le célèbre professeur italien, inventeur de la première dynamo industrielle); la deuxième station a été nommée Volta.

Cette dernière station est en ce moment en plein fonctionnement; sa puissance est totalement utilisée; aussi l'installation de la première station, dite Pacinotti, a-t-elle été commandée; elle est maintenant achevée et vient d'être mise en service avec le plus grand succès.

DESCRIPTION GÉNÉRALE DU SYSTÈME ADOPTÉ

Ainsi qu'il a déjà été dit, la distribution de force a été exécutée par le système de distribution en série dit à intensité constante.

Dans ce système, les machines dynamo-électriques génératrices doivent maintenir un courant d'intensité constante dans une ligne unique sur laquelle sont intercalés successivement tous les moteurs.

Les génératrices doivent maintenir un nombre d'ampères rigoureusement constant dans la ligne, quelle que soit sa longueur et quel que soit le nombre de moteurs alimentés. La pression nécessaire en volts est par contre essentiellement variable. Les jours de fête, par exemple, tous les moteurs sont arrêtés à certains moments de la journée; les génératrices n'ont alors qu'à fournir le nombre de volts correspondant à la perte de charge de la ligne, soit 450 à 500 environ. Par contre, à certaines heures de la soirée, pendant que les usines utilisent leur force motrice, on met en mouvement les moteurs actionnant les machines génératrices des stations d'éclairage électrique, et la tension atteint 5000 et 6000 volts.

Ainsi la tension que doivent fournir les stations génératrices change constamment, et les écarts varient de plus de 1 à 10. Les variations de pression sont souvent très brusques; il est fréquemment arrivé qu'elle change de plusieurs milliers de volts en quelques secondes. Ces brusques variations de tension ont longtemps paru un obstacle insurmontable et rendu le réglage de l'intensité des plus difficiles, surtout lorsqu'il s'agissait, comme c'est le cas dans ces installations, d'un courant d'une intensité relativement grande.

Les moteurs ont nécessité des études toutes spéciales, car, à l'inverse des moteurs électriques ordinaires excités en dérivation et marchant à potentiel constant, les moteurs à intensité constante sont absolument instables comme vitesse, la plus petite variation d'effort déterminant l'emballage indéfini ou l'arrêt complet du moteur. Pour qu'ils puissent fournir une marche parfaitement régulière, ils doivent être pourvus de volants suffisants et de régulateurs de vitesse très sensibles.

La mise en marche et l'arrêt se font de la manière la plus simple, par la seule manœuvre d'un interrupteur ordinaire qui met le moteur en circuit pour sa marche, et en court circuit pour son arrêt. Un voltmètre et un ampèremètre indiquent le courant utilisé, un déclencheur de sûreté pare aux accidents qui pourraient se produire par suite d'une interruption de courant ou d'un emballement, et un boisage isolant protège le personnel contre les accidents physiologiques. En outre, chaque station a été pourvue récemment de parafoudres spéciaux qui protègent d'une manière efficace les machines et le personnel contre les effets des décharges atmosphériques.

DESCRIPTION DU MATÉRIEL HYDRAULIQUE ET ÉLECTRIQUE

Station Galvani.

Cette station ne comprend jusqu'ici qu'un seul groupe de 140 chevaux, composé de deux dynamos Thury, type H.-C., construites par MM. Cuénod, Sautter et Cᵉ, de Genève. Ces deux machines sont accouplées directement avec une turbine Rieter à injection partielle, marchant à la vitesse normale de 475 tours par minute.

L'accouplement se fait au moyen de manchons élastiques et isolants du système Raffard. Le réglage se fait à la main au moyen d'une commande agissant sur le distributeur. Cette commande est d'une manœuvre rapide et très facile. A l'origine, un régulateur de vitesse avait été prévu, mais on a reconnu d'emblée que son fonctionnement gênait le réglage électrique au lieu de le faciliter, ce qui en a motivé la suppression.

L'excellente construction de la turbine lui a permis de marcher jusqu'ici sans aucune réparation.

Une fabrique de jute absorbe la plus grande partie de la force disponible, soit 600 chevaux effectifs, fournis par deux turbines Rieter de 300 chevaux transmettant leur force à la fabrique au moyen d'une transmission télédynamique.

Dynamos. — Les dynamos génératrices sont des machines Thury à six pôles, à inducteur entièrement en fer forgé, et induit type tambour multipolaire. Le diamètre de l'alésage est de 580 millimètres. La longueur de l'armature est de 720 millimètres. Elles donnent en pleine charge 1000 à 1100 volts et 47 ampères, soit 51 kilowatts, à leur allure normale, soit à 475 tours à chaud. Elles sont excitées en série. En court circuit elles marchent à 20 tours par minute. Leur vitesse varie ainsi dans les limites de 20 à 475 tours suivant les besoins, c'est-à-dire suivant le nombre de volts effectifs à fournir sur la ligne.

Les deux dynamos sont accouplées en tension et marchent ensemble. Elles ont fonctionné d'une manière continue, marchant jour et nuit sans arrêt, sauf quelques heures les jours de fête exceptionnellement. Le graissage des paliers est automatique, suivant le système dit à bagues, qui a donné pleine satisfaction.

Isolation. — Dans cette première installation, l'isolation entre les machines et le sol a été obtenue par le scellement des boulons de fondation dans des vases étanches en fonte au moyen d'un mastic isolant composé de soufre et de verre. En outre, une isolation supplémentaire analogue a été faite d'une part entre le support des aimants et le bâti de la machine, et d'autre part entre le noyau de l'induit et son arbre. Le collecteur porte également une double isolation. Grâce à ces précautions, il n'est jamais arrivé d'accident jusqu'ici.

Protection du personnel. — Le personnel est protégé par un bon plancher isolé sur porcelaine. La même précaution a été prise pour tous les moteurs. On a même boisé les murs avoisinant les machines et appareils en communication avec le courant, et cette simple précaution permet de toucher à toutes les pièces sans aucun danger.

Dans toutes les installations faites depuis un an, le soufre a été remplacé par le mica et la porcelaine; l'huile a été également employée pour améliorer l'isolation, de telle sorte qu'avec la tension maxima on n'a pu observer aucune dérivation quelconque dans les dynamos de toute l'installation.

Rendement. — Le rendement garanti des dynamos de la station Galvani est de 90 o/o. Il est en réalité légèrement supérieur à ce chiffre. Les expériences faites à Genève accusent un peu plus de 91 o/o. Aucune expérience précise n'a encore été faite à Gênes; on s'est contenté jusqu'ici des indications fournies par les appareils de mesure des génératrices et des moteurs, mais ces appareils industriels ne sont eux-mêmes précis qu'à 1 o/o près et ne conviennent pas à des mesures exactes.

Station Volta.

Cette station, dont la figure 1 représente une vue partielle, a été mise en marche en décembre 1891 et n'a cessé dès lors de fonctionner d'une manière satisfaisante. Elle comprend quatre groupes composés chacun d'une turbine de 140 chevaux et huit dynamos de 1000 volts et 47 ampères installées par la Compagnie de l'Industrie électrique. Les machines sont du même type Thury que celles de la station Galvani, mais leur construction diffère sur un cer-

tain nombre de points importants, à cause des conditions nouvelles imposées par la Société de l'Acquedotto sur l'avis de M. l'ingénieur Preve.

Les machines génératrices devant marcher à vitesse constante, le réglage de l'intensité devait se faire automatiquement en faisant varier le courant d'excitation de ces machines.

L'excitation devait être faite au moyen d'une machine séparée, actionnée par une turbine spéciale; le régulateur électrique de l'excitation

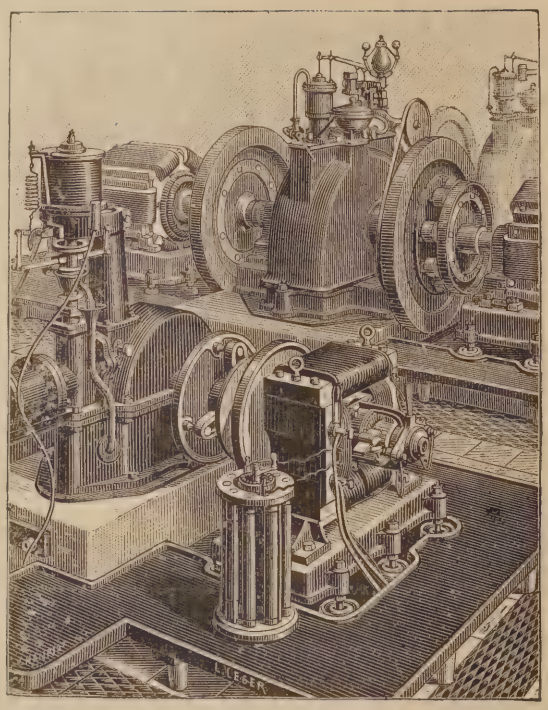


Fig. 1. — Vue d'une partie de la station génératrice dite « Volta ».

agissant sur la turbine pour faire varier sa vitesse.

Cette disposition a ce grand avantage que le réglage de l'intensité est effectué par un seul régulateur, quel que soit le nombre de génératrices en service. C'est ce qui facilite un réglage automatique. Par contre, ce mode de réglage présente de sérieuses difficultés qui ont obligé à modifier complètement l'enroulement des génératrices et leur construction. Il nécessite en outre de pourvoir les turbines d'excellents régulateurs de vitesse, sans lesquels tout bon fonctionnement est impossible.

Turbines. — MM. Faesch et Piccard, de Genève, ont été chargés de la construction des turbines auto-régulatrices, et leur régulateur à servo-moteur a bien rempli les conditions nécessaires.

Les turbines sont à axe horizontal; l'eau arrive dans le centre de la roue, et le mouvement de cette eau est radial centrifuge.

L'introduction est partielle (1/3 environ du pourtour) et a lieu par deux injecteurs symétriques. A l'intérieur du distributeur se trouve un vannage qui, en tournant, recouvre ou découvre les orifices du distributeur.

Cette disposition de vannage se prête bien au réglage par régulateur automatique, parce que la pression de l'eau sur l'organe de réglage se trouve complètement équilibrée. En outre, ce vannage est monté à son centre sur des douilles en bronze qui sont graissées depuis l'extérieur, ce qui les met à l'abri de l'usure.

Dynamos. — Les principales difficultés du côté des dynamos peuvent se résumer ainsi : toutes les dynamos étant reliées entre elles par le fil d'excitation séparé, l'enroulement des inducteurs devait pouvoir résister sans avarie à la tension totale fournie par les génératrices, c'est-à-dire 6000 volts et éventuellement 8000 volts et plus.

Ce résultat a été atteint par une isolation supplémentaire entre les inducteurs et le bâti des dynamos. Cette isolation est formée par deux fortes couches de mica représentant une résistance d'isolement de plusieurs milliers de mégohms. Cela seul ne suffisait pas, car il était à craindre que l'étincelle ne jaillît directement de l'induit sur les pièces polaires. Pour éviter ce grave danger, toute la surface de l'induit a été recouverte d'un fort isolement très compact et imperméable, formant écran. L'échauffement de l'induit étant faible, cela n'a pas donné lieu à des inconvénients du côté de la température, et jusqu'ici aucune dérivation quelconque ne s'est produite par les inducteurs.

L'isolation entre l'induit et le bâti est également constituée par une forte couche de mica. En outre, les bâtis sont montés sur des boulons scellés à l'intérieur de forts isolateurs en porcelaine, pourvus d'une galerie circulaire que l'on remplit d'huile isolante, pour éviter les dérivations par surface, qui sont à craindre à cause de l'humidité du local. On est ainsi arrivé à une résistance d'isolation si grande qu'elle ne peut

plus être mesurée avec les instruments employés ordinairement à cet effet. Les machines peuvent garder très longtemps une charge statique considérable. C'est grâce à ces précautions, en réalité bien simples, que jusqu'ici l'emploi des hautes tensions continues de plus de 5 000 volts n'a donné lieu à aucun désagrément. Il est certainement possible de dépasser encore ce chiffre sans danger. Une autre difficulté inhérente à l'excitation séparée est la grande tendance de production de fortes étincelles au collecteur, lorsque les machines marchant à plein débit, l'excitation en est réduite.

Ce problème a été résolu par l'emploi d'un champ magnétique très puissant d'une part, et de l'autre, par un sectionnement convenable de l'enroulement. Enfin l'emploi de charbons spéciaux à grain fin et d'une conductibilité assez faible a facilité encore l'extinction des étincelles. En pratique, les dynamos peuvent marcher en court circuit à plein courant et pleine vitesse, avec une excitation pour ainsi dire nulle, sans traces d'étincelles au collecteur, sans qu'il soit nécessaire de décaler les contacts. Les contacts en charbon installés au début durent toujours et ne sont pas usés d'une manière appréciable ; ils dureront plusieurs années sans retouche. Les collecteurs sont aussi polis que possible et n'ont jamais été retouchés ni graissés.

Le réglage exact de l'intensité est un des points les plus difficiles du problème. En effet, la force électromotrice varie à chaque instant dans de grandes proportions, et souvent dans un espace de temps extrêmement court. Ainsi lorsqu'on arrête un moteur de 60 chevaux, on se contente de le mettre brusquement en court circuit. Par la manœuvre d'un simple interrupteur, il arrive que les 1 200 volts qu'il empruntait à la ligne se trouvent disponibles, et l'intensité du courant prendrait une grande valeur surtout si par hasard ce moteur se trouvait seul en circuit ou à peu près. Il faut donc que le régulateur corrige instantanément un fort écart, ce qui serait irréalisable si la turbine excitatrice ne pouvait pas suivre immédiatement l'action du régulateur.

L'excitatrice est commune à toutes les génératrices. Elle est accouplée directement à une turbine de 12 à 15 chevaux qui marche sans volant, de telle sorte que son moment d'inertie soit aussi réduit que possible. L'excitatrice est une dynamo à champ puissant, dont la bobine est excessivement légère ; son diamètre est de 180 millimètres seulement. De cette façon le système mobile est si léger que son inertie disparaît devant la grandeur des efforts en jeu, et que son allure suit constamment les variations d'ouverture de la turbine. Pour conserver un champ magnétique suffisant à toutes les allures, l'excitatrice est excitée séparément par une petite machine servant en même temps à l'éclairage du local ; la stabilité nécessaire du champ est ainsi obtenue.

La turbine, du système Piccard, est pourvue de l'arrangement ordinaire des turbines à régulateur de vitesse, mais le pendule conique a été enlevé et remplacé par un fort solénoïde vertical tenant en équilibre par son action un noyau de fer doux du poids de 15 kilog. directement attaché à la broche du servo-moteur. Ce noyau est mis en rotation continue par une petite cordelette de cuir recevant son mouvement de la turbine elle-même. Cette rotation a pour but d'assurer la parfaite mobilité du noyau et de la broche. Une petite pompe à huile amortit les mouvements brusques et atténue les effets dus à la masse du noyau qui tendent à exagérer les réglages. Un ressort et un contrepoids mobile permettent d'ajuster le régulateur à volonté pendant la marche.

Le solénoïde est parcouru par le courant de la ligne, soit normalement par un courant de 47 ampères. Lorsque le courant augmente, le noyau s'élève en entraînant la broche du servomoteur de la turbine et la fermeture s'effectue instantanément. Si le courant faiblit, le noyau s'abaisse et ouvre la turbine, qui aussitôt accélère sa marche et renforce l'excitation.

L'ouverture et la fermeture complètes s'effectuent en quelques dixièmes de seconde, et la turbine obéit avec un retard insignifiant. L'asservissement du distributeur de la turbine au noyau du solénoïde se fait par l'intermédiaire d'un piston hydraulique recevant l'eau sous pression par le moyen de la broche qui n'est elle-même qu'un tiroir de distribution parfaitement équilibré.

Appareils accessoires. — La figure schématique 2 montre comment ces divers appareils sont reliés entre eux. Chaque groupe de deux dynamos est pourvu d'un tableau comprenant :

Un déclencheur de sûreté, fonctionnant lorsque la tension d'un groupe dépasse 2 400 volts. Il rompt l'excitation et met le groupe en court circuit.

Un voltmètre gradué jusqu'à 2 400 volts.

Un ampèremètre servant surtout à la mise en marche du groupe. Pour mettre en marche, la turbine est ouverte jusqu'à ce que l'intensité en court circuit soit normale; le court circuit est alors rompu, puis le régulateur de vitesse de la turbine est embrayé.

Un interrupteur servant à mettre le groupe en court circuit. Deux fiches dites d'isolation, permettant de séparer les machines du circuit,

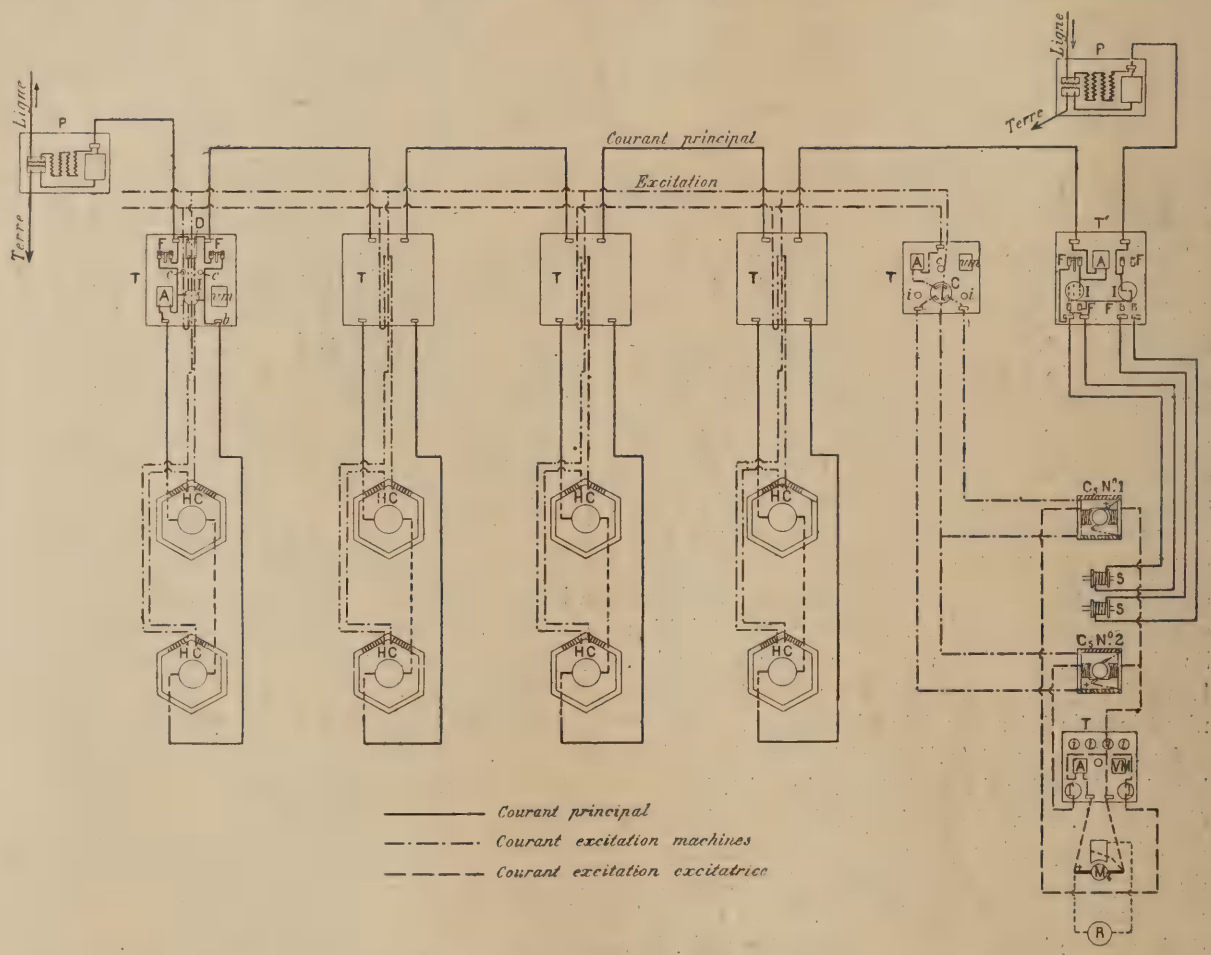


Fig. 2. — Schéma de l'usine Volta.

M¹ excitatrice shunt des machines C²; T tableaux de distribution; R rhéostat d'excitation; A ampèremètres; I interrupteurs; C² excitatrices des huit génératrices H C; V M Voltmètre; C commutateurs; H C génératrices 1000 volts; F fiches; D déclencheur de mise en court circuit par excès de tension, avec petit déclencheur placé sur même socle et coupant l'excitation au moment de la mise en court circuit du groupe; *b* bornes; S solénoïdes commandant la hoche des turbines des excitatrices C²; P deux postes de parafoudres avec amortisseurs, condensateur, parafoudres.

à l'arrêt, en cas de nettoyage ou de réparations.

Chaque excitatrice est pourvue d'un tableau comprenant : un voltmètre, un ampèremètre et un interrupteur à deux directions.

L'installation comporte deux excitatrices, dont une seule en service, l'autre servant de réserve. Leur puissance maxima est de 10 000 watts, mais ce chiffre est loin d'être atteint en pratique; jusqu'ici on n'a guère utilisé plus de la moitié de cette puissance. Leur tension normale est de 110 volts, et en service régulier la tension varie de 10 à 80 volts environ.

Les excitatrices sont soigneusement isolées du sol et des turbines, auxquelles elles sont accouplées par manchons élastiques Raffard. L'isolation par ces manchons est excellente, le contact entre turbines et dynamos ne se faisant que par des anneaux de caoutchouc pur d'une longueur de 150 millimètres au minimum.

Station Pacinotti.

Cette dernière station, dont notre figure 3 montre une vue générale, a été inaugurée le 23 novembre dernier; elle a la même importance que la station Volta. Le bâtiment s'élève sur une pente très abrupte, à plus de 500 mètres au-dessus du niveau de la mer. Le bâtiment est construit exactement sur le modèle de la station Volta; il se compose d'un corps principal formant la salle des machines, et de deux ailes servant de logement au personnel, avec un petit bureau et un magasin pouvant servir d'atelier de réparations.

La salle des machines est actuellement disposée pour recevoir au maximum six groupes de

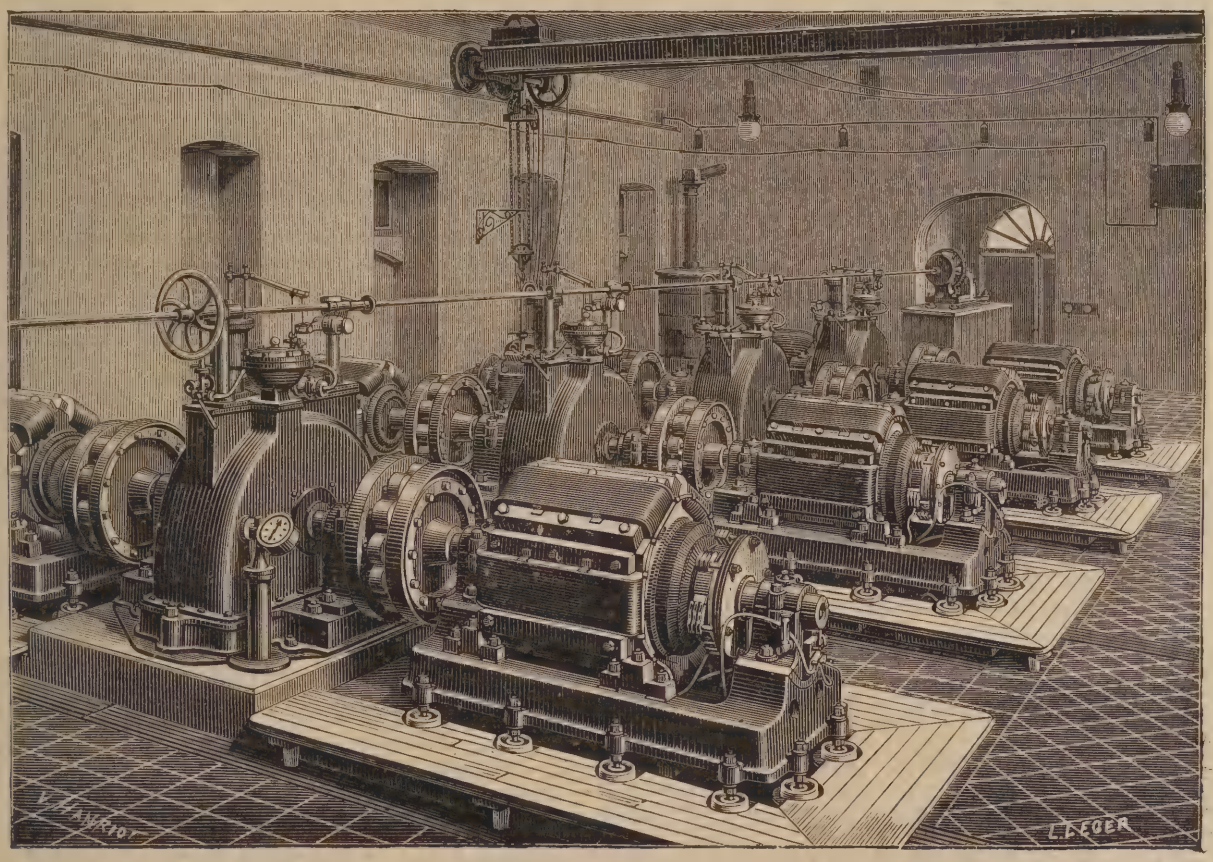


Fig. 3. — Vue d'ensemble de la station supérieure, dite « Pacinotti ».

140 chevaux; quatre groupes sont en plein fonctionnement; les prises d'eau et massifs sont déjà prêts pour un cinquième. Le sixième groupe ne s'installera que dans un avenir plus ou moins prochain, quand les travaux de captation d'eau seront terminés et que la capacité totale des usines sera entièrement utilisée

Les quatre groupes de génératrices sont du même modèle que ceux de la station Volta. Ils sont composés chacun d'une turbine Piccard de 140 chevaux, actionnant deux dynamos Thury, type HC 1000 volts, 45 ampères à 475 tours par minute, établis pour permettre éventuellement la marche à 50 ampères. Toutes les dynamos sont accouplées en série. Le mode de réglage du courant et le genre d'excitation diffèrent cependant de celui adopté pour la station Volta; M. Thury, cherchant à simplifier le service autant que possible, et trouvant que d'une part les régulateurs de vitesse des turbines étaient des engins un peu délicats, et que d'autre part il est difficile d'accorder tout un système

de régulateurs dépendant un peu les uns des autres, a préféré supprimer tous les régulateurs de vitesse et n'employer qu'un seul régulateur pour l'ensemble de la station.

En effet, le résultat obtenu a été pleinement satisfaisant; le service de l'usine est d'une simplicité extrême, tellement facile qu'un enfant pourrait y suffire.

L'excitation séparée a été abandonnée et remplacée simplement par l'auto-excitation en série, comme cela avait été fait dès l'origine de l'installation pour la station Galvani, qui a toujours bien fonctionné. Les volants des turbines ont été supprimés complètement, et les dynamos établies de telle sorte que l'inertie de leur induit fût nulle relativement à leur puissance. De cette manière il s'établit déjà une sorte de réglage automatique du fait que lorsque la résistanee du circuit augmente, le courant diminuant, l'effort moteur diminue et les turbines augmentent d'elles-mêmes de vitesse, en corrigeant ainsi partiellement l'écart. Réciproquement, si le courant augmente, l'effort moteur augmente, les turbines calent et diminuent de vitesse.

M. Thury a naturellement pris soin que les dynamos soient très peu saturées, ce qui facilite grandement ce réglage automatique, car de la sorte l'effort moteur croît sensiblement comme le carré de l'intensité du courant.

Le régulateur de courant n'a plus alors qu'à corriger de faibles différences, et n'a plus besoin d'agir instantanément. Ce régulateur est composé d'un moteur Thury, type M L, dont l'armature porte deux enroulements lui permettant de marcher dans les deux sens sans inverseur. Ce moteur actionne une transmission générale, actionnant à volonté les distributeurs des turbines, au moyen de la disposition à servo-moteur, système Picard. Le moteur est mis en mouvement dans un sens ou dans l'autre par un dispositif très simple, comprenant une armature en fer, attirée plus ou moins par l'électro-aimant du moteur, et un relais envoyant le courant dans l'un ou l'autre des enroulements de l'armature, aussitôt que le courant augmente ou diminue dans le circuit du transport.

Les turbines varient ainsi de vitesse suivant les besoins. On ne s'inquiète nullement de leur rendement aux faibles charges, car le volume d'eau dépensé doit être maintenu constant, du fait que les trois stations sont disposées en cascade, utilisant trois fois la même eau. Ainsi, plus le rendement est mauvais aux faibles charges, moins il reste à régler d'autre part pour maintenir la dépense d'eau constante.

La figure 4 représente le schéma de l'usine Pacinotti. Chaque groupe de dynamos est pourvu d'un tableau placé à proximité immédiate. Chacun de ces tableaux comprend un interrupteur permettant de mettre le groupe en court circuit, un voltmètre, un ampèremètre et un disjoncteur, agissant en cas d'interruption de courant. En outre deux interrupteurs spéciaux permettent d'isoler totalement le groupe de la ligne, en cas de réparations.

Chaque dynamo est pourvue d'un interrupteur automatique la mettant en court circuit en cas de changement de rotation.

Pour mettre en marche un groupe, on ouvre le distributeur de la turbine jusqu'à ce que l'ampèremètre marque 45 ampères normaux. Ceci a lieu dès que la vitesse des dynamos atteint 18 tours par minute. Ceci fait, on rompt le court circuit au tableau, et le groupe se trouve en service. Il ne reste plus qu'à continuer d'ouvrir le distributeur sans s'inquiéter du courant, jusqu'à ce que le degré d'ouverture soit à peu près le même que celui des autres groupes déjà en service. On l'accouple alors avec la transmission du régulateur automatique.

Pour arrêter un groupe, il suffit de fermer le distributeur de la turbine. Il stoppe rapidement et donne un demi-tour en arrière, en fonctionnant comme moteur sous l'influence du courant des autres génératrices. Il se met alors de lui-même en court circuit par ses deux interrupteurs automatiques.

L'employé se rend alors au tableau, en ferme l'interrupteur et renclenche ensuite les interrupteurs des dynamos pour que le groupe soit de nouveau prêt à servir. Ces manœuvres s'exécutent au moyen du servomoteur hydraulique, en quelques secondes et sans aucun effort.

A Gênes le circuit Volta avait, jusqu'au moment de la mise en service du circuit Pacinotti, un développement de plus de 60 kilomètres en fil de cuivre de 9 millimètres de diamètre. Ce circuit comprenait 5 moteurs de 60 chevaux et un certain nombre de moteurs de 5 à 45 chevaux, absorbant souvent plus de 6 000 volts, sans que cette haute tension ait donné lieu à des plaintes quelconques.

Ces résultats seront certainement bien dé-

passés par la station Pacinotti, qui est beaucoup plus simple et plus sûre que la station Volta.

Lignes.

Les lignes de transmission électrique ne présentent aucune particularité. Le diamètre uniforme des fils de cuivre est de 9 millimètres. Les fils sont simplement supportés par des isolateurs à l'huile sur des poteaux ordinaires en bois de mélèze de bonne qualité. On les a armés à mi-hauteur de fortes pointes en fer empêchant les enfants d'y monter. Ils sont peints en brun rouge et portent un écriteau bien visible avertissant le public de ne point toucher les fils. Jusqu'ici il n'est arrivé aucun accident quelconque; ces indications ont pleinement suffi au public, qui n'a garde d'y toucher. En certains endroits on a dû avoir recours aux câbles souterrains. A d'autres places le fil est remplacé par un câble bien isolé, afin d'éviter qu'une rupture puisse

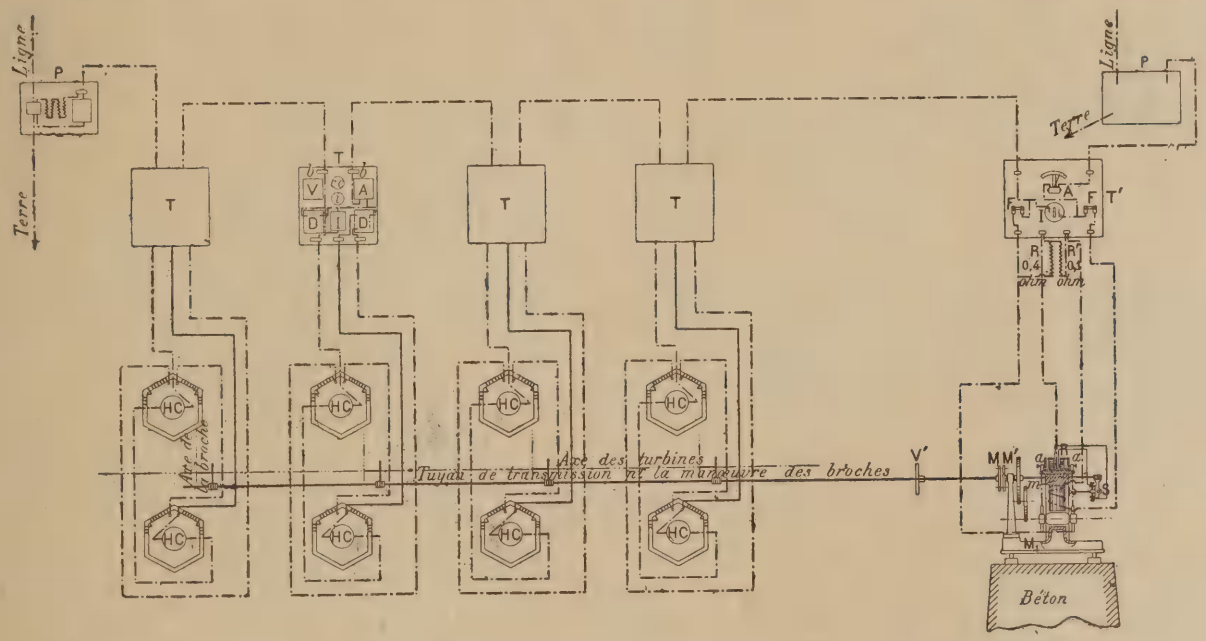


Fig. 4. — Schéma de l'usine Pacinotti.

T tableaux isolés du sol; A ampèremètres; V voltmètres; D déclencheurs; I interrupteurs; *i* petit interrupteur du voltmètre; *cc* petits coupe-circuits du voltmètre; *b* bornes; HC huit machines groupées en tension réglées simultanément par régulateur électrique M_1 agissant sur transmission de manœuvre des broches des turbines; M_1 régulateur électrique à double collecteur pour inversion de marche; R relais; *aa* armatures de changement de sens; S servo-moteur; T' tableau du régulateur; F fiches d'isolation; MM' manchons ébonite; V' volant pour réglage à la main; P parafoudre.

amener des accidents. Les poteaux de bois ont été remplacés parfois par des poteaux métalliques, là où la prudence et l'esthétique l'exigeaient. La traversée des villes et des villages s'effectue partout en câble bien isolé, supporté aériennement.

L'isolation de la ligne aérienne a toujours été bonne, et même la rupture accidentelle d'isolateurs n'a causé aucun inconvénient. L'établissement des câbles souterrains a été plus difficile, et à deux ou trois reprises on a constaté des dérivations sur une partie du circuit. Une transformation radicale des anciens câbles permet actuellement de marcher d'une manière sûre. Il est à remarquer que lorsqu'il se produit une dérivation ou même un court circuit entre deux parties du circuit, le service général n'est pas interrompu pour cela, et seule la partie endommagée reste momentanément en souffrance.

Parafoudres. — Chacune des stations comprend un double poste de parafoudres d'un modèle spécial, qui a rendu de très grands services, et qui mérite une courte description. Ce parafoudre comprend en première ligne un avertisseur composé d'une série de bobines fortement isolées et disposées de telle sorte qu'elles présentent le coefficient de self-induction le plus

élevé possible. Ces bobines sont insérées dans le circuit entre les machines et la ligne; il y en a une série de quatre par pôle. Un parafoudre ordinaire à peigne, monté sur un socle de porcelaine, est disposé sur l'entrée des fils dans le bâtiment, avant l'arrivée du courant dans l'amortisseur. Après l'amortisseur, c'est-à-dire directement branché entre les pôles des génératrices et la terre, se trouve un condensateur d'une capacité de 0,4 microfarad environ.

Voici maintenant comment fonctionne cet appareil :

Toutes les petites décharges atmosphériques et courants induits instantanés traversent avec une facilité plus ou moins grande l'amortisseur et chargent le condensateur et l'ensemble des appareils et machines à un potentiel peu élevé et non dangereux grâce à la capacité du condensateur. Le tout se décharge aussitôt après par les pointes du parafoudre sous forme d'effluves en aigrettes, sans étincelles capables d'allumer l'arc. La décharge à la terre s'opère en même temps sur toute l'étendue de la ligne et par les parafoudres de tous les moteurs. Si la décharge atmosphérique est très forte, comme par exemple en cas de foudre frappant directement la ligne, une partie notable traverse l'amortisseur et charge le condensateur, mais la résistance de l'amortisseur devient alors si grande que la majeure partie du courant est forcée de s'écouler directement à la terre par le parafoudre, sans que la différence de potentiel entre les machines et la terre puisse atteindre une valeur suffisamment élevée pour être dangereuse. Cette disposition permet ainsi d'éviter des décharges intempestives dans les parafoudres, qui peuvent avoir pour résultat de mettre les génératrices en court circuit par la terre. La distance entre les deux peignes peut être augmentée sans aucun danger pour les dynamos et le personnel, ce qui évite aussi les inconvénients dus aux poussières qui, s'y attachant, détruisent l'isolement. Ce système de parafoudre a été définitivement adopté pour tous les moteurs, qui jusqu'ici n'étaient pas suffisamment protégés par le parafoudre ordinaire.

Moteurs.

Les moteurs installés sont tous du système Thury et ont aussi été fournis par la Compagnie de l'Industrie électrique. Ils sont de toutes les forces comprises entre 5 à 60 chevaux. De 5 à 18 chevaux les moteurs sont bipolaires. Leur réglage s'opère simplement en shuntant plus ou moins leur excitation, qui est toujours en série. Ce procédé ne suffirait plus pour empêcher leur emballement en cas de chute de courroie ; aussi ont-ils tous leur électro-aimant en bon fer recuit, sans aucune partie en fonte ou acier, gardant assez peu de magnétisme rémanent pour que tout emballement soit rendu impossible. On avait prévu à l'origine des déclencheurs agissant

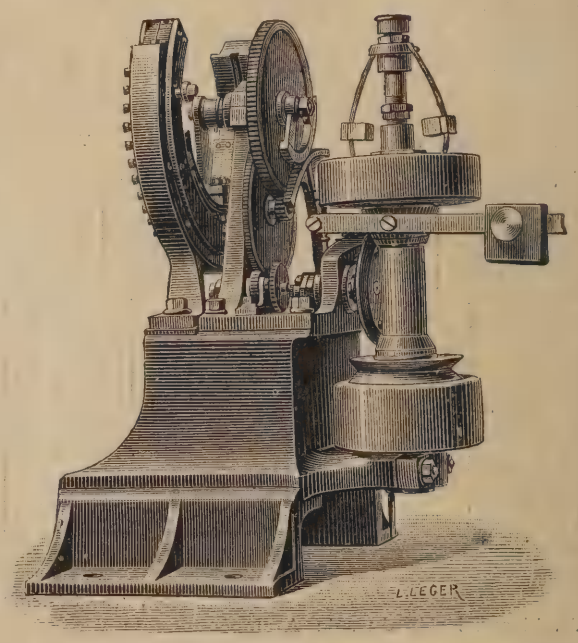


Fig. 5 — Régulateur de vitesse des réceptrices à ha tension.

en arrêtant le moteur en cas d'emballement excessif, mais ils ont été laissés de côté jusqu'ici.

Les moteurs ayant une force supérieure à 18 chevaux sont multipolaires à 4 ou 6 pôles. Les moteurs de 60 chevaux sont du même modèle que les génératrices, c'est-à-dire qu'ils peuvent fournir jusqu'à 70 chevaux. Dans ces moteurs, le réglage de la vitesse ne se fait plus en shuntant l'excitation, car cela présenterait plusieurs inconvénients et il serait difficile d'éviter l'emballement à blanc. Une disposition spéciale a donc été adoptée, et consiste simplement à déplacer plus ou moins les entrées et sorties de courant dans l'inducteur, de telle sorte que l'affaiblissement s'obtienne en intercalant un certain nom-

bre de spires d'excitation en sens inverse de la normale. On arrive ainsi à réduire le champ à zéro; on peut même le faire changer de signe. Ce système a donné de bons résultats. Les touches du régulateur de vitesse, représentées figure 5, n'ayant guère qu'un volt de différence de tension entre elles, il ne s'y produit que des étincelles tout à fait insignifiantes, annulées par l'emploi de contacts mixtes cuivre-charbon.

Les régulateurs sont à servo-moteurs et très stables, grâce au choix du pourcentage admissible. En outre, chaque moteur est pourvu d'un volant dont l'action achève de régulariser le mouvement. Un levier et un contrepoids mobiles permettent d'ajuster la vitesse à volonté. Comme particularité du régulateur, il faut remarquer que tout le système mobile du pendule conique tourne autour de son arbre et non avec son

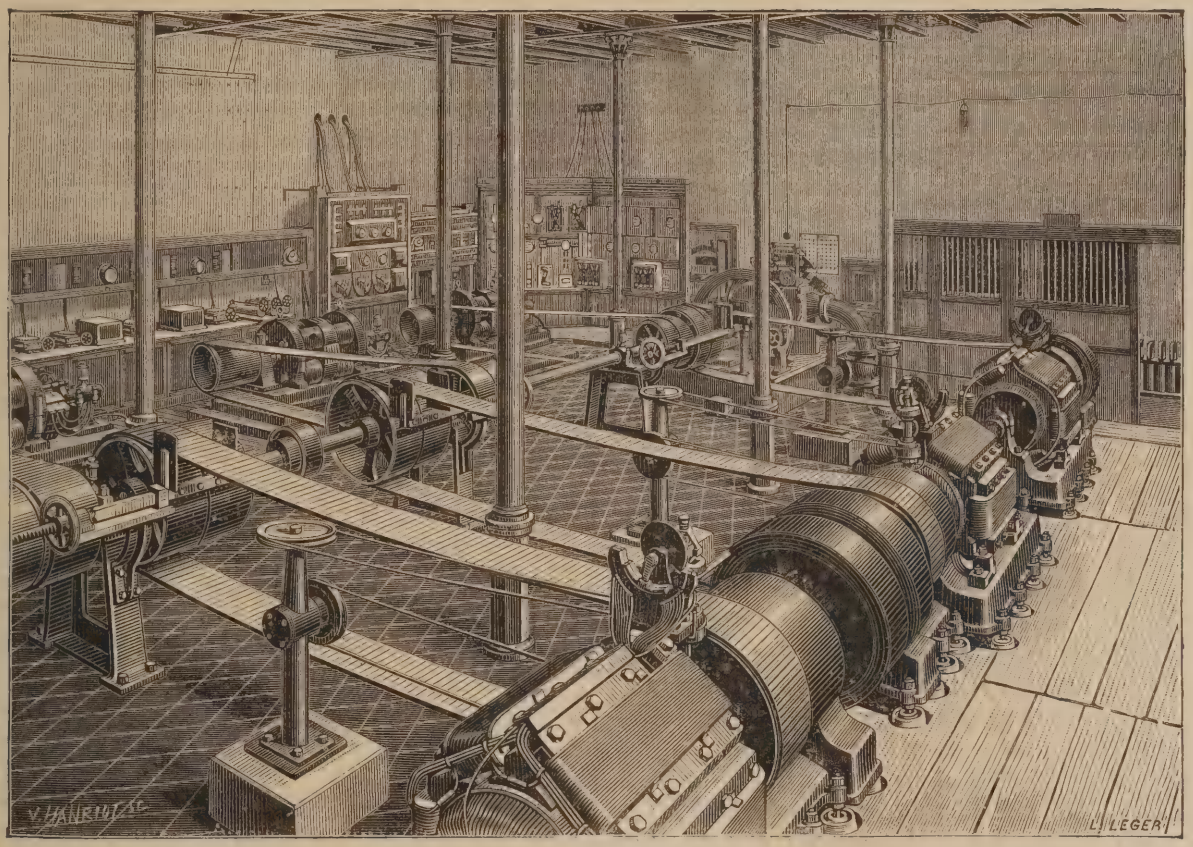


Fig. 6. — Vue d'ensemble de la station réceptrice de la Via Goïto recevant le courant de l'usine Volta.

arbre comme cela se pratique ordinairement. Toutes les articulations sont en outre remplacées par des ressorts, d'où il résulte que la liberté du système est absolue, ce qui est nécessaire dans ce cas particulier.

Les appareils accessoires des moteurs sont groupés sur un tableau isolé portant un ampèremètre, un voltmètre, un interrupteur de mise en marche et un déclencheur de sûreté.

Comme précautions particulières, il a suffi de boiser soigneusement le sol et les murailles, afin d'éviter tout danger de commotion avec la terre. La tension la plus forte exigée par le plus puissant moteur est de 1250 volts, ce qui est encore très modéré et n'a pas donné lieu au moindre inconvénient jusqu'ici.

La mise en marche du moteur s'effectue sans aucun appareil spécial par la simple manœuvre d'un interrupteur. Sauf dans les stations d'éclairage, les moteurs marchent sans aucune surveillance. Les paliers sont auto-graisseurs, et les contacts en charbon doux permettent une mar-

che absolument sûre, sans aucun réglage; leur calage est fixe. Les moteurs marchent à toutes les allures sans étincelles et ne nécessitent aucun réglage.

Jusqu'ici le courant n'a été utilisé que pour la distribution de la force. Il va sans dire que l'on peut l'employer directement pour l'alimentation de fortes lampes à arc pour l'éclairage public et privé.

L'éclairage des gares de S. P. d'Aréna et de Gênes (principe) est alimenté par des machines ordinaires de Siemens et du Technomasio, de Milan. Les machines sont commandées par deux moteurs de 60 chevaux alimentés par la station Volta. De même l'éclairage privé à arc et à incandescence fourni par la station centrale de la Via Goïto est obtenu par la force que livre l'usine Volta.

Trois moteurs de 60 chevaux commandés par l'intermédiaire d'une transmission, trois machines anglaises de Gulcher de 30 000 watts chacune, et une machine italienne du Technomasio, de Milan, de la puissance normale de 33 000 watts. C'est cette dernière station que représente notre gravure (fig. 6).

Rendement.

Le rendement des machines génératrices et des moteurs multipolaires (6 pôles) est garanti de 90 o/o. Il dépasse ce chiffre de 1 à 2 1/2 o/o suivant la puissance. Pour les autres moteurs, le rendement varie de 85 à 89 o/o. Ce dernier chiffre peut être pris comme moyenne générale.

La ligne actuellement en service a un développement de 60 kilomètres; elle absorbe environ 500 volts en chiffres ronds. Son rendement est donc de 90 o/o. Le rendement final de la transmission est donc de $90 \times 89 \times 90 = 72$ o/o, ce qui représente le rapport du travail pris sur l'arbre des turbines au travail effectif rendu par les moteurs. Ce rendement s'abaisse aux faibles charges, mais sans inconvénient, puisque la force non utilisée est perdue, il est par contre amélioré lorsque les génératrices travaillent à pleine charge, à la tension de 6000 volts.

Ainsi a été résolu, de la façon la plus simple possible, par M. Thury, l'habile ingénieur de la société l'Industrie électrique, de Genève, le problème, considéré jusqu'ici comme délicat, d'une distribution en série à haut voltage.

Voici maintenant quelques chiffres relatifs aux machines génératrices Thury et aux moteurs de 60 chevaux effectifs à 6 pôles.

Puissance normale : 1000 *volts* × 47 *ampères* = 47 *kilowatts.*

Vitesse maxima	475 tours.
Diamètre de l'alésage	586 millimèt.
Profondeur de l'alésage	720 millimèt.
Résistance de l'induit	0,5 ohms à 50°
Nombre total des spires	136
Champ moyen (compris entre espaces interpolaires)	4500 un. C. G. S.
Dépense du champ à pleine charge.	1100 watts.

RENDEMENT. — *Détail des forces perdues.*

Champ	1 100 watts.
Résistance de l'armature	1 100 —
Hystérésis et courants de Foucault (approximation maxima)	2 500 —
Courant utile	47 000 —
Total	51 700 watts.

Rendement : 90,9 o/o.

Les appareils faisant partie de la distribution sont d'une grande robusticité, le réglage se fait avec une haute précision, les manœuvres tant à l'usine génératrice qu'aux postes récepteurs sont réduites à la plus extrême simplicité; enfin, les précautions, d'ailleurs très simples, prises pour isoler du sol les dynamos et le personnel assurent la marche et la sécurité la plus parfaite de ces belles installations.

Nous pouvons maintenant, grâce aux études persévérantes de M. Thury, utiliser industriellement des courants continus d'au moins 6000 volts. Ce chiffre n'est d'ailleurs pas impossible à dépasser ; M. Alberto Preve, l'ingénieur conseil de la société de l'Acquedotto et l'initiateur de ces intéressants travaux a, nous assure-t-on, l'intention de marcher très prochainement à 10 000 volts en ajoutant dans les deux dernières stations deux nouvelles unités de 140 chevaux.

Nous ne pouvons terminer sans adresser nos plus sincères remerciements à M. J. Cuénod, directeur de la Compagnie l'Industrie électrique, de Genève, qui s'est mis à notre entière disposition pour nous fournir les détails si intéressants que nous venons de donner sur cette grande et superbe installation, la plus importante et la mieux conçue de toutes celles de son genre actuellement en fonctionnement sur le continent.

J.-P. ANNEY.

APPLICATIONS MÉCANIQUES
DE L'ÉLECTRICITÉ [1]

Nous avons décrit dans nos précédents articles un certain nombre d'applications de l'électricité à l'actionnement des ponts roulants d'ateliers, où elle remplace avantageusement les transmissions funiculaires ou hydrauliques, les chaudières et les machines à vapeur des anciens appareils [2].

MM. Broadbent and Sons, de Huddersfield [3], ont récemment établi un *pont roulant électrique* de 15 tonnes. dont l'unique moteur est une dynamo Gramme avec anneau de grand diamètre et montage en compound pour faciliter les démarrages, collecteur très long aux balais en carbone du type Scott et Mountain [4] avec commutateur mettant en circuit d'abord les inducteurs puis graduellement l'armature, de manière à éviter les étincelles au départ. Cette dynamo, qui marche sous 105 volts à la vitesse constante de 750 tours, actionne avec une puissance de 10 chevaux le crochet du pont par un mécanisme à 6 vitesses, dont celles de descente double des vitesses de levée. Toutes les manœuvres longitudinales, verticales et transversales de la grue sont commandées par des leviers sis sous la main du mécanicien assis à un bout du pont, parfaitement en vue de la charge dont il suit ainsi tous les mouvements.

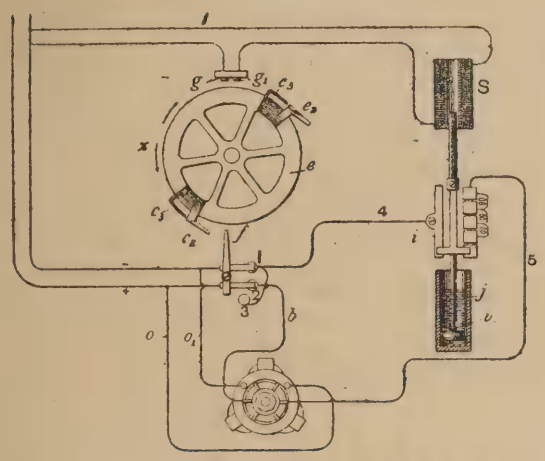


Fig. 1. — Manœuvre d'ascenseur électrique See et Tyler (1892).

A l'arsenal de *Watervliet*, près de Troy, aux États-Unis, il existe un pont roulant électrique de 120 tonnes, à portée de 18 mètres et à levée de 12 mètres, mené par une génératrice Thomson-Houston de 65 chevaux à 500 volts. Le pont pèse 150 tonnes; il roule sur huit galets de 0,910 m. de diamètre; son treuil est porté par 16 roues de 610 millimètres de diamètre avec galets antifriction. La réceptrice placée à une des extrémités du pont reçoit son courant d'une barre de cuivre et commande tous les mécanismes par une série de leviers embrayeurs groupés sous la main du mécanicien.

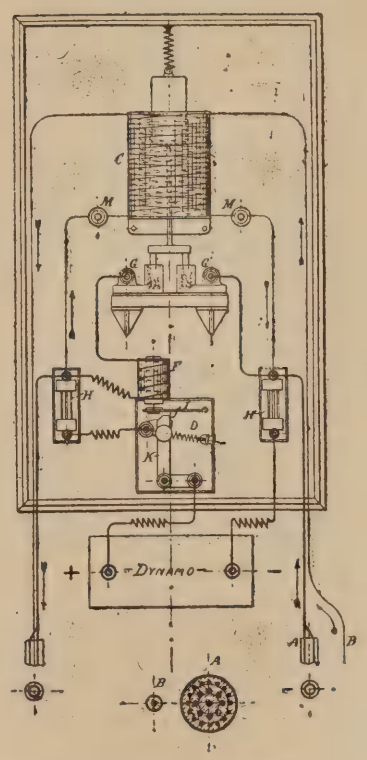


Fig. 2. — Câbles de sûreté pour transmissions minières Charleton et Walker (1892).

Au démarrage, la dépense d'électricité augmente de 30 à 150 o/o de la dépense en vitesse normale [1].

Aux essais et à neuf, c'est-à-dire, avec des

(1) *La Lumière Électrique* du 11 février 1893.

(2) Bon et Lustrement, 2 novembre 1889, p. 204; Dujardin, 17 janvier 1891, p. 116. Voir aussi *La Revue Industrielle*, 2 février 1889 et *Le Génie Civil*, 9 avril 1892.

(3) *Engineering*, 13 janvier 1893.

(4) *La Lumière Électrique*, 19 décembre 1891, p. 561.

(1) *Electrical World*, 10 décembre 1892.

mécanismes durs, insuffisamment rodés, ce pont a donné les résultats moyens suivants :

	Chevaux	Ampères
Puissance théoriquement nécessaire pour élever 120 tonnes à la vitesse de un centimètre par seconde....	16,3	24,3
Puissance réellement dépensée.....	50,27	75
Frottements du pont en charge....	33,97	50,7
— — à vide.....	10,05	15
— — dus à la charge	23,12	35,7

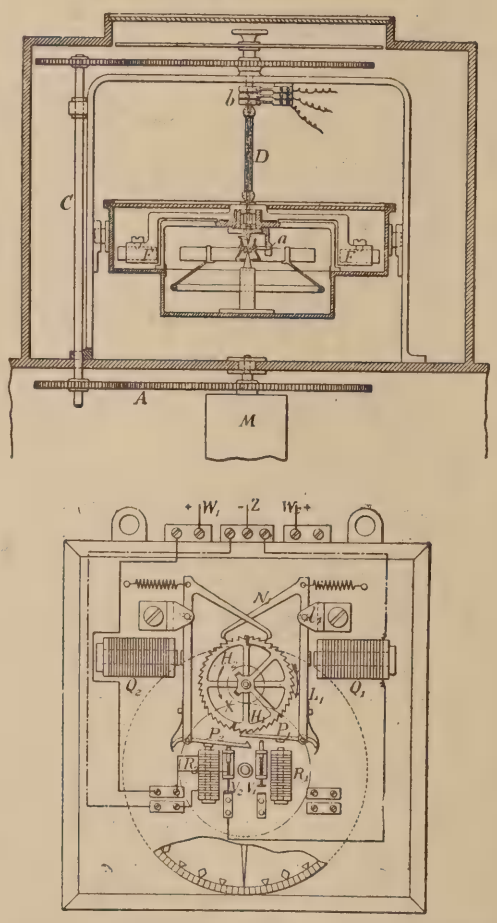


Fig. 3 et 4. — Von Peichl. Boussole auto-directrice (1892).

La manœuvre de l'*ascenseur électrique* de *See et Tyler* représenté par la figure 1 est disposée spécialement en vue de provoquer des arrêts et des mises en train graduelles et sans chocs.

Le commutateur *f* est à trois touches : 1, 2 et 3, dont deux, 1 et 3, jointes entre elles, et reliées l'une, 1, à l'un des balais de la dynamo par 4, le rhéostat *i*, le fil 5, et la troisième, 2, par *b*, à l'autre balai de la dynamo. Les inducteurs sont reliés par *o* et *o'* aux conducteurs + et — du circuit moteur, dont une dérivation *t*, normalement interrompue en *gg*, s'en va au solénoïde de manœuvre S.

Ceci posé, supposons l'appareil dans la position indiquée et l'ascenseur au bas de sa course ; pour partir, on tourne la roue de manœuvre *c* dans le sens de la flèche *x*, de manière que son taquet inférieur e_2 repousse le levier *f* à droite, et renverse le sens du courant dans l'armature ; mais, aussitôt après ce renversement, le ressort supérieur c^3 de la roue ferme en gg_1 la dériva-

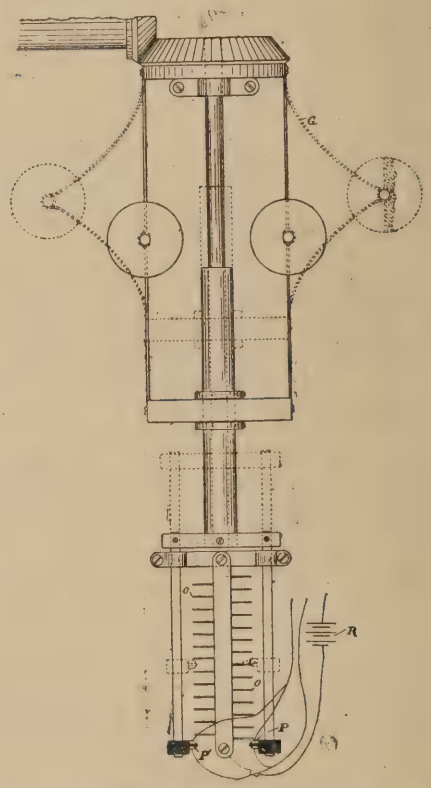


Fig. 5. — Johnston et Fletcher. Indicateur de vitesse transmetteur (1892).

tion *t*, de manière que le solénoïde S, attirant son armature, ferme le circuit 4-5 de l'armature, d'abord au travers de la totalité du rhéostat, puis par des résistances de plus en plus faibles, avec une vitesse réglée par son dashpot *j*, de manière que le départ de la dynamo ait lieu sans choc et graduellement.

Pour arrêter l'ascenseur en un point quelconque, on tourne la roue de manœuvre en sens contraire de *x*, mais juste de ce qu'il faut pour rompre en *gg'* la dérivation *t* du solénoïde S_1 qui, lâchant son armature, supprime graduellement

le courant à la dynamo, mais néanmoins plus vite qu'il ne l'avait rétabli précédemment, parce que la soupape v du piston dashpot laisse l'armature retomber plus facilement.

Quant on veut descendre, on tourne la roue de manœuvre en sens contraire de x jusqu'à ce que la butée supérieure e_2 repousse le commutateur f à gauche et renverse graduellement le courant dans l'armature de la dynamo.

On remarquera qu'avec cette disposition la roue de manœuvre agit sur le commutateur non pas directement, mais par l'intermédiaire du solénoïde S, qui fait, lorsque l'on ouvre ou ferme le contact gg, parcourir à son armature toute

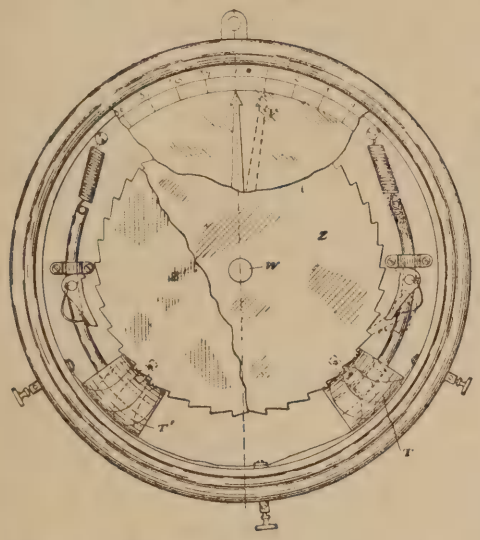


Fig. 6. — Johnston et Fletcher. Récepteur.

sa course, de manière qu'elle ne s'immobilise jamais en un point intermédiaire avec danger d'étincelles.

Dans les mines, où les applications de l'électricité se répandent, comme la savent nos lecteurs, de plus en plus, il importe souvent, dans les galeries grisouteuses, par exemple, de prendre des précautions spéciales pour couper le courant et éviter toute production d'étincelles dès qu'il survient un accident au câble d'un circuit. A cet effet, *MM. Charleton et Walker* ont récemment proposé la disposition représentée schématiquement par la figure 2.

Le câble principal A est constitué par des torons hélicoïdaux isolés autour d'une âme centrale qui, au tableau de sûreté, aboutit seule aux bornes M M du solénoïde C; puis, à côté du câble principal, court un câble de sûreté auxiliaire B, de même section que l'âme de A, et enroulé sur G en sens contraire de l'âme de A, de sorte que, en temps normal, ces deux enroule-

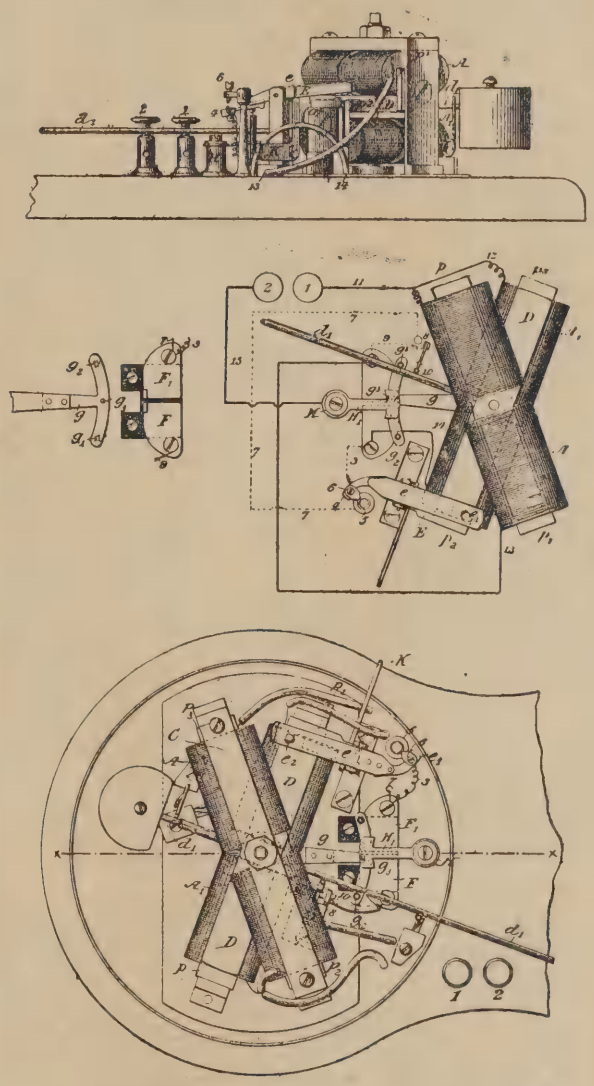


Fig. 7 à 10. — Sonnerie Wagner (1892).

ments se neutralisent, et que le solénoïde n'attire pas son armature.

Le câble A est supporté par des attaches assez faibles pour se briser sans le rompre au cas où il vient à supporter un choc violent, tandis que le câble latéral B, solidement attaché, se brise, au contraire, et cette rupture, détruisant l'équilibre des enroulements C, fait que ce solénoïde, abaissant son armature, ferme

aussitôt en G G le circuit de l'électro F, lequel, attirant son armature J, lâche le loquet K qui rompt, en se rabattant sur D, le circuit de la dynamo, indépendemment de la fusion des plombs H H. La même fermeture se produit en cas de rupture de l'âme du câble principal, également par désiquilibrage des enroulements C.

M. Von Peichl a récemment apporté à sa *boussole autodirectrice*, décrite à la page 119 de notre

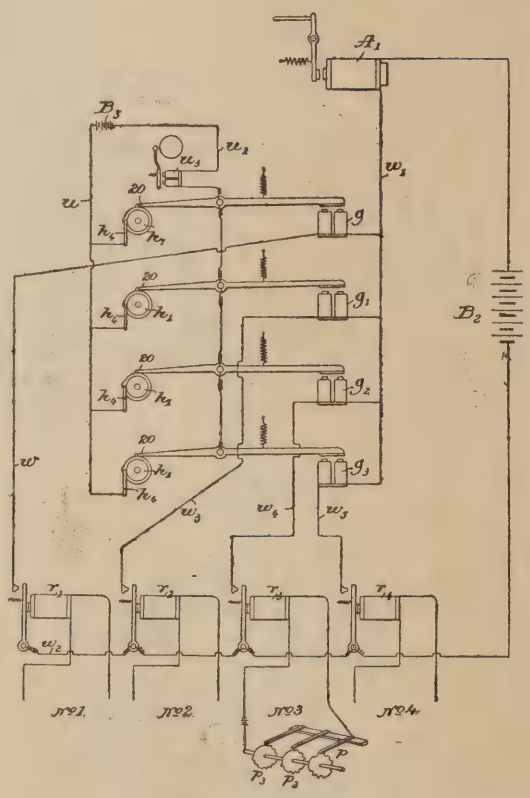


Fig. 11. — Signaleur Martin (1892). Schéma des circuits.

numéro du 18 juillet 1891, les perfectionnements représentés par les figures 3 et 4.

Le premier de ces perfectionnements se rapporte à la boussole proprement dite : il consiste (fig. 3) à entraîner dans la rotation du tambour à papier M non plus toute la boîte de la boussole, mais, par le train A C B et l'arbre D, seulement les masses de fer doux sensibilisatrices F F et les contacts *a a*.

En outre, c'est sur l'axe D que viennent porter les contacts *b* qui, dans l'ancien appareil, se trouvaient au bas de l'axe de M.

Le second perfectionnement se rapporte (fig. 4) à l'appareil récepteur ou répétiteur, dont on reconnaît en H_1 et H_2 les deux rochets à dentures opposées. Quand un courant arrive de la boussole par le fil W_1, l'électro R_2 attire son armature P_2, ce qui permet aux rochets de tourner dans le sens de la flèche X, mais d'une dent seulement, parce que le contact de P_2 sur V^2 ferme le circuit de Q_1, lequel, faisant pivoter L_1 autour de l_1,

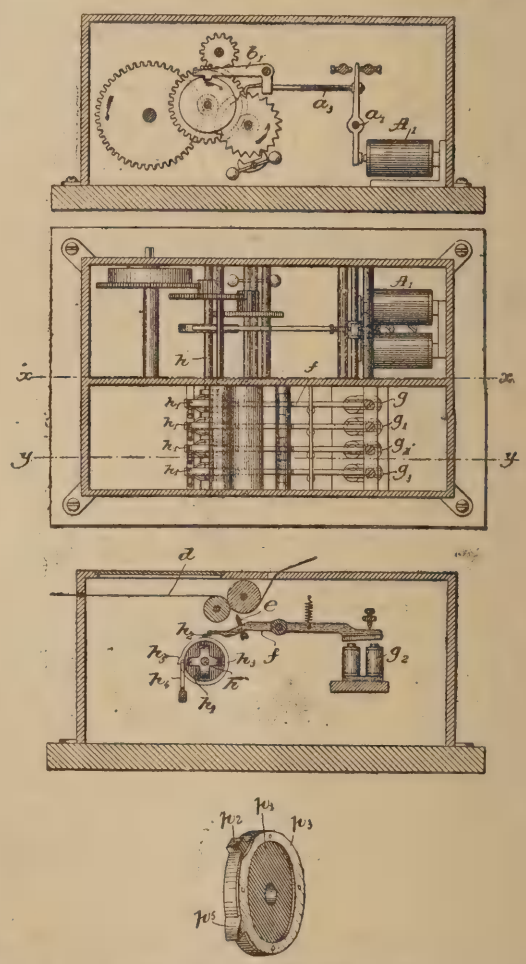


Fig. 12 à 15. — Signaleur Martin. Plan, coupes *x x*, *y y*. Détail d'un disque h_1.

arrête le rochet par H_1 après un pivotement d'une dent. L'inverse a lieu quand le courant arrive par W_2, c'est-à-dire que le rochet tourne sous l'action des électros Q_2 et R_2 d'une dent en sens contraire de X.

Enfin, quand il ne passe pas de courant, le rochet reste immobile, enclenché par les deux cliquets P_1 et P_2.

L'indicateur de vitesse Johnston et Fletcher, re-

présenté par les figures 5 et 6, a ses contacts P et P′ actionnés directement par le croisillon d'un régulateur à force centrifuge G, tournant avec la machine dont on veut indiquer la vitesse. Ces contacts se déplacent le long d'une échelle de ressorts *o o′*, et sont reconverts d'isolants disposés de manière que P′ ne touche, par sa partie métallique, les ressorts *o′* qu'en descendant, et P les ressorts *o* qu'en montant.

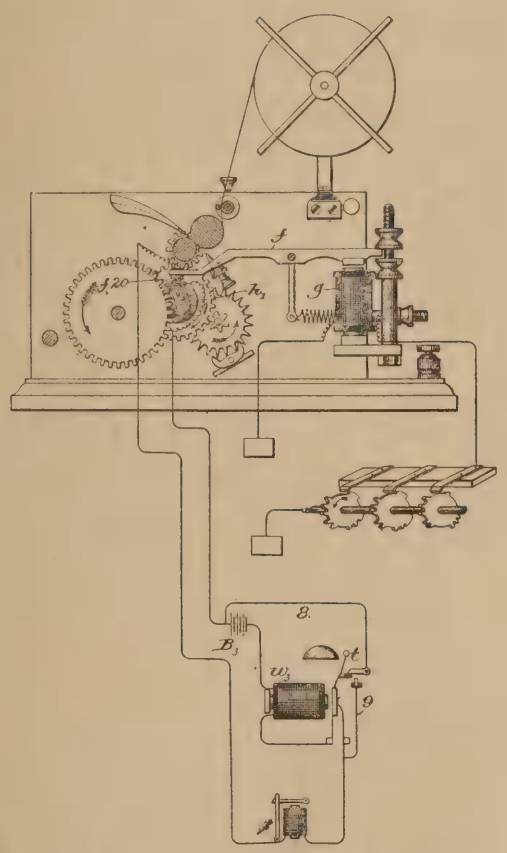


Fig. 16. — Signaleur Martin à un seul électro.

Le transmetteur se compose (fig. 6) d'un double rochet *z* et *z′*, à dentures contrariées. A chaque contact de P, le circuit de la pile R se ferme sur le solénoïde T, et fait avancer *z* d'une dent; puis, quand la vitesse diminue, c'est T qui fait reculer *z′* d'une dent à chaque contact de P′.

La *sonnerie* à longue course de *M. P. Wagner* fonctionne comme il suit au moyen d'une armature D mobile entre les deux électro-aimants fixes et croisés A et A′.

Quand on presse le bouton de sonnerie, l'appareil étant au repos avec le contact g^3 (fig. 9) sur la plaque F, le courant passe de la borne 1 à la borne 2 par 11, l'électro A, le fil 13, la

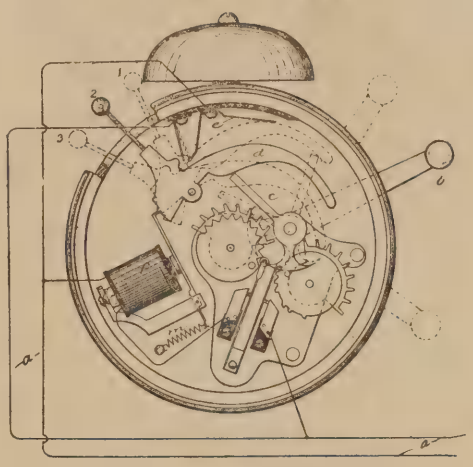


Fig. 17. — Rappel Scribner (1892).

plaque F, g^3, le ressort H′, H et le fil 15, et les pôles *p p′* de A font pivoter l'armature D, entraînant avec elle le bras *d′* du marteau, qui frappe un coup, jusqu'à ce qu'il vienne, en re-

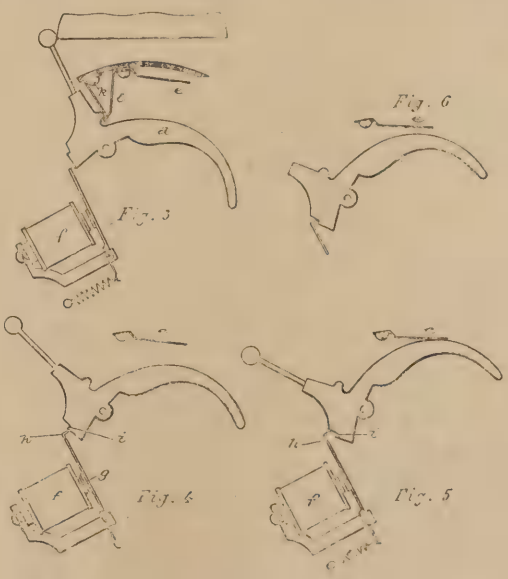


Fig. 18 (2 à 6). — Rappel Scribner. Détail du marteau.

poussant g^2 faire pivoter le bras *g*, de manière à amener le contact g^3 de la plaque F à la plaque F_1, reliée à l'électro-aimant A′.

Le courant passe alors par F′ et le fil 14 dans l'électro A′, qui attire D′ de A sur A′, et fait frapper un coup au marteau, dont la tige repous-

sant g', referme le circuit sur A, et ainsi de suite, la sonnerie fonctionnant comme un trembleur pendant toute la durée de la fermeture du circuit.

Quand on veut, au contraire, ne frapper qu'un coup à chaque fermeture du circuit ou à chaque appel du bouton, on rabat le levier K (fig. 7) de manière à laisser retomber l'armature E sur le pôle correspondant de A′ et a', à fermer la rupture du circuit d'appel; après quoi, l'armature E, lâchée par A′, rompt le contact 4.-6, et sépare de nouveau les plaques F et F′, pendant que l'armature D reprend, sous l'appel d'un ressort, sa position médiane ou de repos, symétrique entre les pôles $p\,p'$, $p_2\,p_3$.

Les longues courses de cette sonnerie permettent de frapper des coups très forts avec des électro-aimants relativement faibles.

Le *signaleur de police* de *M. Martin*, ingénieur de la Municipal Signal Company of Maine, ainsi, quand cet électro fonctionne et l'attire après le premier coup frappé comme précédemment par A, le circuit par 4. 6. 5 sur le commutateur 8 qui, frappé en 10 (fig. 9) par la tige du marteau, relie par 9 (fig. 8) les deux plaques F et F′, de sorte que les deux électros A et A′ sont mis simultanément en circuit. En même temps, le ressort e de l'armature E enclenche par $e'\,e_2$ l'armature D, et la maintient immobilisée jusqu'à fonctionne très simplement comme il suit, l'appareil étant supposé monté comme l'indique le schéma (fig. 11) pour desservir quatre postes d'appel 1, 2, 3, 4.

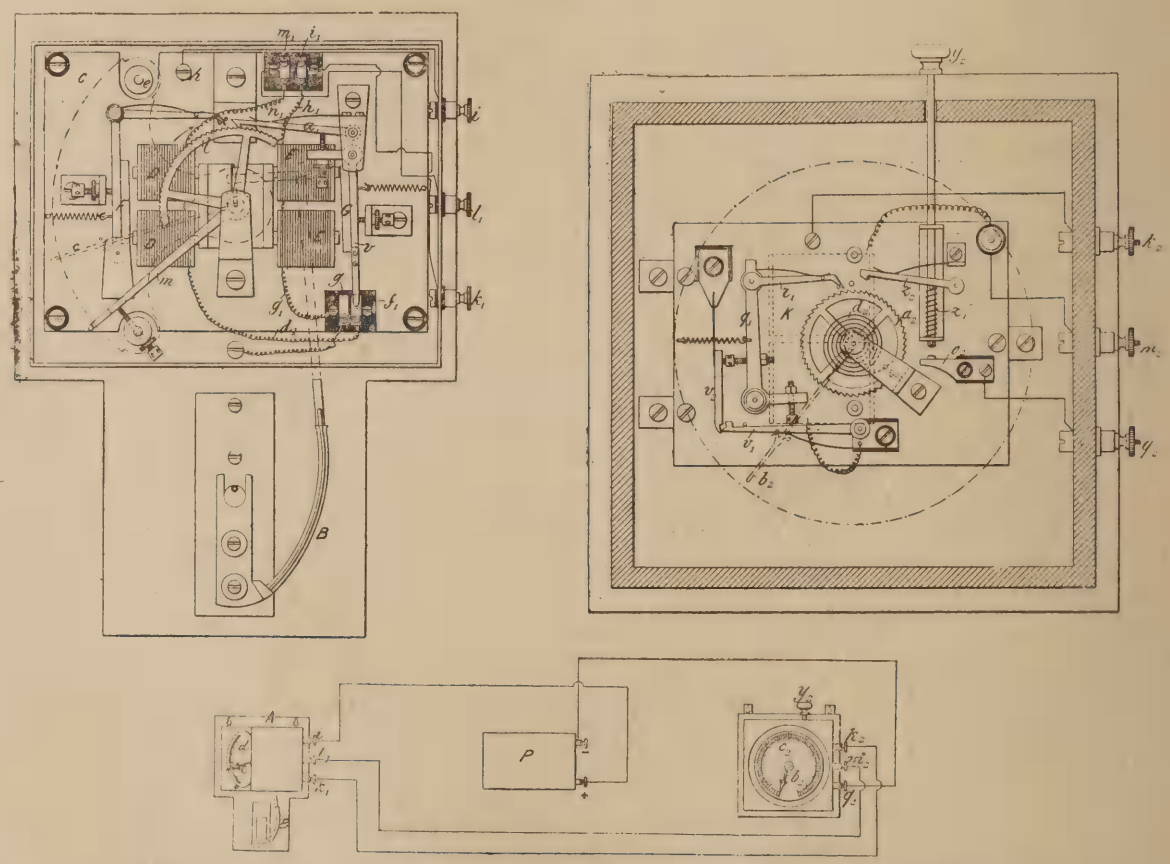


Fig. 19 à 21. — Téléthermomètre Richard (1892). Transmetteur, récepteur et schéma des circuits.

La boîte de l'appareil porte, enfilés à frottement sur un même axe h, quatre disques isolants h_1 (fig. 15) normalement arrêtés par la butée des taquets h_2 de leur jante métallique sur l'armature f_2 de l'électro g_2 correspondant. Il y a autant d'électro-aimants $g\,g_1\,g_2\,g_3$ et de disques h_1 qu'il y a de postes d'appel $r_1\,r_2$...

Supposons que l'on appelle du poste n° 1 en

lâchant l'armature de son relais r_1. Cette armature ferme par son contact le circuit $w' w w_2$ de la pile B_2, faisant agir d'abord l'électro A', qui, (fig. 12 et 13) déclenche le mécanisme du signaleur en attirant son armature a, laquelle repousse par b_4 le cliquet d'arrêt b^2, puis l'électro-aimant inscripteur g, correspondant au poste n° 1, et qui, lâchant son disque h_1, lui permet de tourner seul avec son axe entraîné par le mécanisme de l'appareil.

A partir de ce moment, l'armature f de g, répondant aux impulsions du relais r_1, marque par sa pointe e sur le papier d, déroulé par le mécanisme du signaleur, le message envoyé par r_1 ; en outre, à chaque tour du disque h_1, sa came h_5 (fig. 15) vient, si l'armature f n'est pas attirée, fermer par les contacts h_4 et 20 le circuit $u u'$ de la sonnerie u^3 (fig. 11) qui avertit, et contrôle ainsi la bonne marche du circuit.

En résumé, aussitôt après le commencement de l'envoi du message, la came h_5 passe sous l'extrémité 20 du levier f et ne la touche pas si ce levier est attiré par son électro-aimant g_2, tandis qu'elle le touche et avertit de l'envoi si le

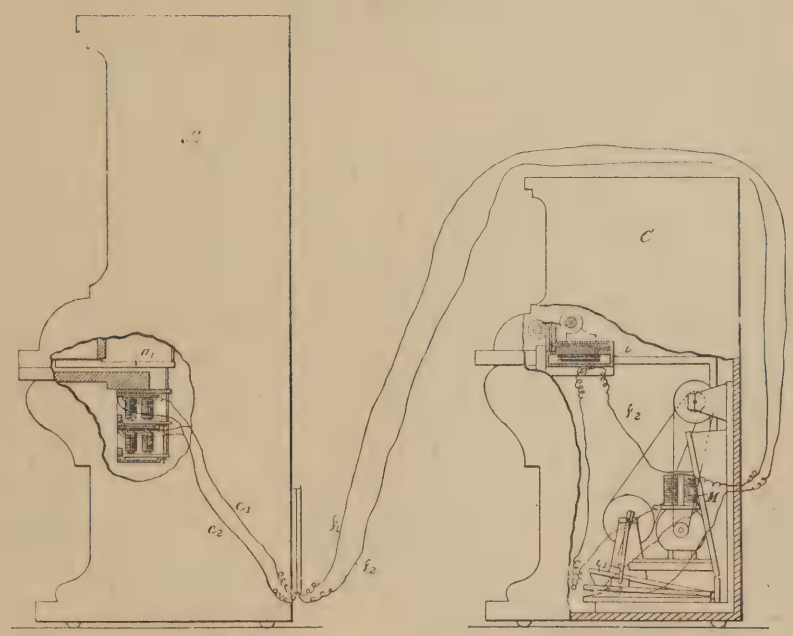


Fig. 22 et 23. — Piano électrique Pain (1892).

levier f n'est pas attiré au moment de son passage. D'autre part, chacun des postes est pourvu de plusieurs interrupteurs $p\, p_2\, p_3$... envoyant des signaux convenus et disposés les uns de manière que f soit attiré au passage de h_5, et les autres de manière qu'il ne le soit pas, de sorte que l'on peut, à volonté, annoncer ou non l'envoi d'un message.

Dans l'appareil représenté par la figure 16, l'électro-aimant g sert à la fois de marqueur par sa pointe e et de déclencheur par son cliquet 20, en prise avec la roue d'arrêt h_1 en matière isolante, et pourvue d'une touche métallique qui vient, comme h_5 (fig. 15), contrôler à chaque tour, par son passage sous f, le circuit de la sonnerie w_3. Quand l'électro de cette sonnerie attire son armature, t ferme, en retombant, le circuit de sa pile B_3 sur 8-9.

Les postes signaleurs doivent, en général, être pourvus d'un mécanisme de rappel permettant au poste central de notifier la réception du signal envoyé ; la disposition proposée par *M. Scribner,* ingénieur de la Western Electric C°, de Chicago, est remarquable par sa simplicité.

Quand on rabat (fig. 17) la poignée b d'un poste dans la position nécessaire pour l'envoi d'un signal, le bras c, solidaire de cette poignée, soulève d'abord le marteau d de la sonnerie de rappel dans la position figure 18 (5), où son contact avec le ressort e coupe du circuit général $a a$ l'électro de sonnerie f, de sorte qu'il lâche son

armature h; puis il laisse retomber ce marteau par son propre poids, jusqu'à son arrêt par la prise de l'armature h dans son encoche i, comme en figure 18 (6). Pendant toute la durée du message, la sonnerie restera paralysée, parce que les courants ordinaires de signaux sont trop faibles pour permettre à h d'attirer son armature et de lâcher le marteau d.

Il suffit, pour le rappel, de faire passer en $a\,a$ un courant assez fort pour que, g lâchant i, le marteau retombe dans la position indiquée en figure 18 (3), où il frappe un coup sur la cloche, et coupe par $k\,l$ toute la boîte du circuit.

La position normale du marteau est donc celle définie en figure 18 (3). Quand on abaisse la

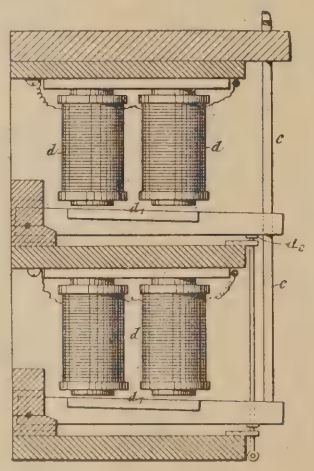


Fig. 24. — Piano Pain. Détail des électros récepteurs.

poignée b, il prend d'abord la position figure 4, où il rapproche h de f assez pour l'y faire attirer et maintenir sur f par les courants ordinaires, jusqu'à ce que la continuation de mouvement de b amène le marteau dans la position figure 5. Mais il ne faut alors qu'un très faible courant supplémentaire, réglé par la tension du ressort h, pour rappeler l'armature et faire fonctionner le rappel.

Le *téléthermomètre J. Richard*, représenté par les figures 19 et 20, se compose (fig. 21) de deux parties : un transmetteur A et un récepteur ou indicateur à distance b_2, reliés respectivement en i_2 et en q_2 aux pôles d'une pile P. Pour que le circuit de cette pile soit fermé, il faut appuyer sur le bouton y_2 du récepteur de manière à fermer le contact o_2. Le courant passe alors par i, h, la plaque C du transmetteur, le levier v, le contact f_1, d_1, l'électro D, le fil n_1, la borne m_1 et la borne t, qui l'amène par $m_2\,n_2$ (fig. 20) à l'électro K du récepteur.

L'électro-aimant D, attirant puis lâchant alternativement son armature F, fait alors tourner dent par dent le rochet l et son bras m, jusqu'à ce que ce bras vienne rencontrer l'aiguille, c dans la position où elle est maintenue par le thermomètre métallique B, et l'armature q_1 de l'électro récepteur K, à détente $v_1\,v_2$, suit synchroniquement les mouvements de F, de sorte que l'aiguille b_2 du récepteur reproduit les mouvements du bras m.

Dès que m fait contact avec le bras c, le courant passe dans l'électro E qui, attirant son armature G, fait passer le levier v du contact f_1 sur g, ce qui supprime le courant à D et à K

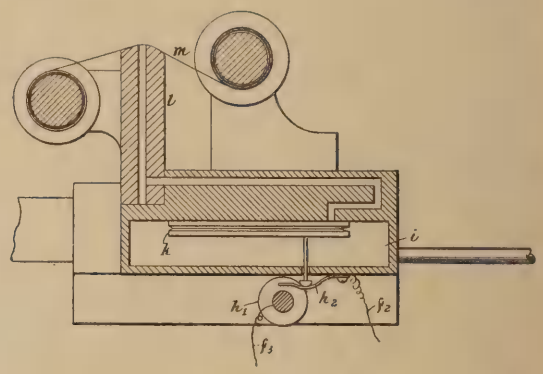


Fig. 25. — Piano Pain. Détail du transmetteur.

en le fermant par $h_1\,i_1$ sur k_2 et k_1. Il en résulte qu'au transmetteur, F s'arrête, et que l, lâché par a, laisse le bras m retomber à sa position primitive, tandis que l'aiguille b_2 du récepteur s'arrête dans la position correspondant à celle de l'aiguille du transmetteur. Cette aiguille revient aussi, par son rappel a_2, à sa position primitive dès qu'on lâche le bouton y_2 rappelé par son ressort z_1 qui déclenche de z_2 le rochet a_2.

Le *piano électrique* de *R.-W. Pain* se compose aussi d'un récepteur et d'un transmetteur.

Le récepteur est (fig. 22 et 23) un piano quelconque A dont les touches a sont actionnées (fig. 24) par les armatures d' de deux rangées d'électro-aimants $d\,d$. Ces armatures, directement reliées aux touches par des tiges $c\,c$, ont leurs courses limitées par les taquets ajustables d_2.

Les électros *d d* sont reliés sur le transmetteur C. par autant de paires de fils e_1 e_2. f_1 f_2, à un nombre égal de paires de contacts h_1 h_3 correspondant chacune à une touche du piano. Chacun des contacts h_3 (fig. 25), normalement séparé de h_1, est relié à un soufflet *k*, logé dans une caisse où règne constamment un certain vide, et mis en communication avec un canal *l*, sur lequel passe le carton *m*, percé de trous figurant le morceau de musique à jouer. Chaque fois qu'il passe un trou sur le canal *l*, le soufflet cor-

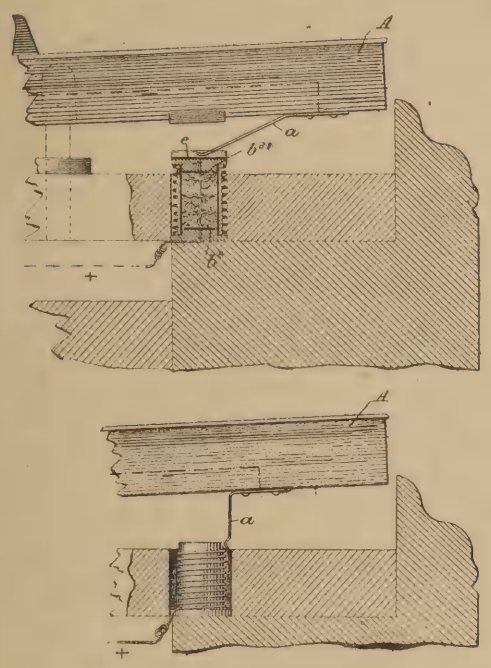


Fig. 26 et 27. — Clavier d'expression Singer 1891.

respondant *k* se détend par l'entrée de l'air en *l*, et ferme son contact h_3, qui fait frapper la note correspondante au piano A. On ne dit rien de l'expression que cela donne à cette note.

Le vide est entretenu en *i* par un grand soufflet i_1 (fig. 23), que commande une dynamo M.

Le dispositif de *M. Singer*, représenté par la figure 26, a, au contraire, pour objet de permettre de donner l'expression dans les orgues, etc. à transmission électrique.

A cet effet, chaque touche A du transmetteur envoie le courant à l'électro correspondant du récepteur par un rhéostat au carbone *c*, dont la résistance diminue avec la pression exercée sur A. Ce rhéostat est constitué en figure 26 par une masse de carbone pulvérulent comprise, dans un tube de caoutchouc, entre deux faces métalliques b^x $b_1{}^x$, et comprimée d'abord par le ressort *a*, puis par l'appui direct de la touche A, qui amène alors la tige *c* au contact direct de b^x. Cette tige est barbelée de manière à empêcher le charbon de s'agglomérer.

On peut, comme l'indique la figure 27, remplacer le carbone par un fil *a* multipliant ses contacts à mesure que l'on abaisse la touche A.

GUSTAVE RICHARD.

A PROPOS DU NOUVEAU

MOTEUR A COURANTS ALTERNATIFS

DE M. BROWN

Le journal *Industries* et le journal *The Electrician*, dans leurs numéros du 27 janvier 1893, publient des études sur un nouveau moteur de M. Brown dans lesquelles nous relevons tout particulièrement le passage suivant, dû à M. Brown lui-même et que nous traduisons littéralement :

« Après ces remarques préliminaires, je vais décrire mon nouveau moteur, faisant connaître d'abord le remarquable phénomène sur lequel son principe est basé. J'ai observé qu'un conducteur placé dans un champ alternatif, s'il est mis en rotation avec une certaine rapidité, se porte lui-même à une vitesse pratiquement synchrone et alors tend à conserver cette vitesse, même en charge. Des courants sont induits dans le conducteur par le champ alternatif. Aussi longtemps, néanmoins, qu'il est en repos, ces courants sont neutres à l'égard du champ inducteur. Aussitôt que le conducteur est mis en mouvement, cette condition change, un moment de rotation est produit, qui augmente à mesure que la vitesse s'élève, jusqu'à ce que le synchronisme soit à peu près atteint.

« Les points suivants sont à noter : avec un conducteur ayant la forme d'un disque solide, par exemple, la vitesse tombera plus ou moins au-dessous du synchronisme suivant la charge. Avec un conducteur profondément denté, au contraire, ou consistant en un petit nombre de pièces (*members*), la tendance est de conserver presque exactement la rotation synchrone, et si la vitesse vient à tomber sensiblement au-dessous, le couple est considérablement réduit. »

Or, il y a plusieurs années que nous avons constaté le phénomène dont M. Brown revendique la découverte et nous en avons donné la théorie complète dans le numéro du 30 mai 1891 du journal *La Lumière Electrique*, page 419 et suivantes. Voici un résumé du calcul publié dans ce numéro.

Considérons une machine dont le circuit fixe comporte $2n$ bobines semblables, mais alternativement enroulées dans un sens et dans l'autre, de manière que ces bobines parcourues par le même courant engendrent $2n$ pôles alternativement positifs et négatifs. Nous lançons dans ces $2n$ bobines montées en série un courant alternatif d'intensité $I = A \sin 2\pi \frac{t}{T}$.

Les circuits mobiles sont au nombre de deux et comportent aussi chacun $2n$ bobines alternativement enroulées dans un sens et dans l'autre. Ces circuits sont entrecroisés de telle manière que si, désignant par Ω leur vitesse de rotation, l'on appelle

$$M_1 = \mu \sin 2\pi (n\Omega) t,$$

le coefficient d'induction mutuelle du premier circuit mobile avec le circuit fixe, le coefficient du deuxième circuit mobile avec le deuxième circuit fixe ait pour expression :

$$M_2 = \mu \cos 2\pi (n\Omega) t$$

Ces deux circuits mobiles sont individuellement fermés ou sur eux-mêmes ou sur des rhéostats à résistance variable.

Appelons ρ et Δ la résistance et le coefficient de self-induction de chacun des circuits mobiles et désignons par

J_1 l'intensité du courant développé dans le premier circuit mobile.

J_2 l'intensité du courant développé dans le second circuit mobile.

W le travail fourni par la rotation de la machine.

On a à chaque instant, le coefficient d'induction mutuelle des deux circuits mobiles étant nul par suite de leur entrecroisement :

$$0 = \rho J_1 + \Delta \frac{dJ_1}{dt} + M_1 \frac{dI}{dt} + I \frac{dM_1}{dt},$$

$$0 = \rho J_2 + \Delta \frac{dJ_2}{dt} + M_2 \frac{dI}{dt} + I \frac{dM_2}{dt},$$

$$\frac{dW}{dt} = I \left[J_1 \frac{dM_1}{dt} + J_2 \frac{dM_2}{dt} \right].$$

La résolution de ces équations nous donne en posant :

$$j_1 = 2\pi \left(\frac{1}{T} - n\Omega\right) \frac{\mu A}{2} \frac{1}{\sqrt{\rho^2 + 4\pi^2 \left(\frac{1}{T} - n\Omega\right)^2 \Delta^2}};$$

$$j_2 = 2\pi \left(\frac{1}{T} - n\Omega\right) \frac{\mu A}{2} \frac{1}{\sqrt{\rho^2 + 4\pi^2 \left(\frac{1}{T} - n\Omega\right)^2 \Delta^2}};$$

$$\operatorname{tang} 2\pi\varphi = 2\pi \left(\frac{1}{T} - n\Omega\right) \frac{\Delta}{\rho};$$

$$\operatorname{tang} 2\pi\Psi = 2\pi \left(\frac{1}{T} + n\Omega\right) \frac{\Delta}{\rho}:$$

$$J_1 = j_1 \sin 2\pi \left[\left(\frac{1}{T} - n\Omega\right) t - \varphi\right] - j_2 \sin 2\pi \left[\left(\frac{1}{T} + n\Omega\right) t - \Psi\right]$$

$$J_2 = j_1 \cos 2\pi \left[\left(\frac{1}{T} - n\Omega\right) t - \varphi\right] - j_2 \cos 2\pi \left[\left(\frac{1}{T} + n\Omega\right) t - \Psi\right]$$

$$W = \frac{\pi}{2} n \Omega \mu^2 A^2 \left[\frac{2\pi \left(\frac{1}{T} - n\Omega\right)\rho}{\rho^2 + 4\pi^2 \left(\frac{1}{T} - n\Omega\right)^2 \Delta^2} - \frac{2\pi \left(\frac{1}{T} + n\Omega\right)\rho}{\rho^2 + 4\pi^2 \left(\frac{1}{T} + n\Omega\right)^2 \Delta^2} \right]$$

L'examen de ces formules nous montre que l'action du champ alternatif engendré par le circuit fixe sur les circuits mobiles est identique à celle que produiraient deux champs constants comme intensité tournant tous les deux avec la vitesse $\frac{1}{nT}$ mais l'un dans le sens dextrorsum et l'autre dans le sens sinistrorum.

Les deux termes entre parenthèses de l'expression du travail W sont égaux et de signes contraires pour $\Omega = 0$, c'est-à-dire au moment du démarrage, mais au fur et à mesure que la vitesse augmente, le premier terme grandit tandis que le second diminue.

Le premier terme devient maximum lorsque l'on a $\rho = 2\pi \left(\frac{1}{T} - n\Omega\right) \Delta$. Il diminue ensuite, s'annule lorsque la machine a atteint la vitesse du synchronisme et devient ensuite négatif.

Il en résulte que si l'on maintient constante l'intensité A, le couple développé sur l'axe du moteur pourra être représenté en fonction de la vitesse Ω par une courbe telle que celle de la figure ci-jointe.

Si l'on ferme les circuits mobiles sur des rhéostats dont on fait varier la résistance à chaque instant, de manière à réaliser, quelle que soit la vitesse Ω, la condition $\rho = \pi \left(\frac{1}{T} - n\Omega\right) \Delta$ (tant que cela est possible), le

premier terme de l'expression du travail W est constant et la courbe se relève bien plus rapidement à partir de l'origine. La mise en vitesse est donc facilitée.

Il en est de même si l'on diminue la fréquence $\frac{1}{T}$, car cela a pour effet de rapprocher de l'origine des coordonnées l'abscisse correspondant au premier sommet de la courbe.

Nous avons démontré dans le même article de *La Lumière Electrique* (p. 423) que les conclusions précédentes subsistaient, quel que fût le mode de constitution des circuits mobiles, leur nombre et leur mode de groupement.

Enfin, examinant le parti que l'on pourrait

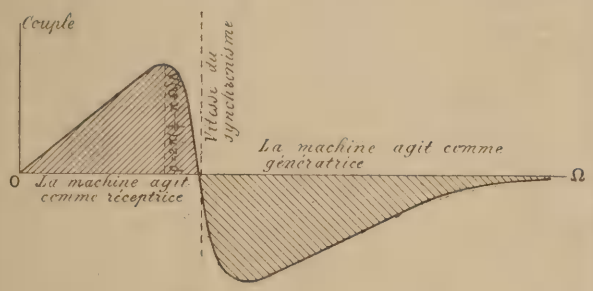


Fig. 1

tirer d'une semblable machine employée comme moteur, nous disons (v. p. 422):

« Si la machine fonctionne comme réceptrice, son couple moteur est nul au démarrage et croît avec la vitesse.

« Son fonctionnement est, dans ces conditions, des plus instables et un pareil système ne pourrait être utilisé en pratique. Mais il n'en serait plus de même si cette machine était directement accouplée avec une autre dont le couple moteur ne pourrait descendre au-dessous d'une certaine limite. Etant assujettie à tourner à une vitesse telle que l'on ait sensiblement $n\,\Omega = \frac{1}{T}$, elle fournirait du travail dans de bonnes conditions de rendement.

« C'est ce qui arrivera si (la machine ayant deux circuits fixes donnant naissance à des pôles entrecroisés) le premier des circuits fixes est parcouru par un courant d'intensité $I = A \sin 2\pi \frac{t}{T}$ et le second par un courant d'intensié $I = A \cos 2\pi \frac{t}{T} + \alpha \sin 2\pi \frac{t}{T}$, (c'est-à-dire si les deux circuits fixes sont parcourus par des courants présentant une différence de phase quelconque).

« Les intensités $A \sin 2\pi \frac{t}{T}$ et $A \cos 2\pi \frac{t}{T}$ détermineront l'établissement d'un couple moteur constant (si la condition $\rho = 2\pi\left(\frac{T}{t} - n\Omega\right)\Delta$ est constamment satisfaite) sur l'axe de la machine auquel viendra se superposer un couple variable avec la vitesse, dû au passage de l'intensité $\alpha \sin 2\pi \frac{t}{T}$. »

En conséquence, nous pensons pouvoir revendiquer en toute justice la priorité, non seulement de la découverte, mais aussi de l'explication du nouveau phénomène constaté par M. Brown. De plus, nous avons proposé jadis les mêmes moyens que M. Brown propose aujourd'hui pour tirer un parti industriel de cette découverte.

HUTIN ET LEBLANC.

SONNERIE ET SIGNAL A DÉTONATION

DE C. ET E. FEIN

Le système de sonnerie et le signal à détonation combinés par MM. C. et E. Fein font partie de la classe déjà si nombreuse des appareils à signaux pour chemins de fer.

Les figures 1 et 2 représentent le mécanisme à sonnerie, en perspective et en coupe. Cet appareil est destiné aux gares de chemins de fer où, par suite du bruit intense ou pour toute autre raison, il est nécessaire de pouvoir annoncer par un signal très clair et s'étendant au loin l'approche des trains, des locomotives de garage, etc.

Le mécanisme est actionné par un moteur électrique. L'arbre A de l'induit est muni d'une vis qui engrène avec une roue dentée *r*. Celle-ci actionne la roue R portant en saillie cinq goupilles qui appuient tour à tour sur un doigt solidaire avec le levier fourchu H. A chaque tour de la roue R, la fourche H est donc abaissée et se relève alternativement cinq fois. Comme cette fourche est reliée par une corde avec le mar-

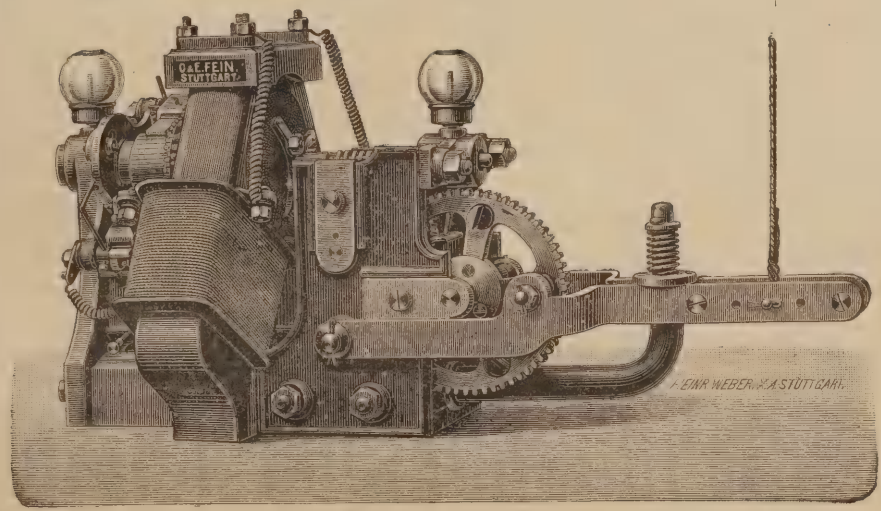


Fig. 1. — Sonnerie Fein.

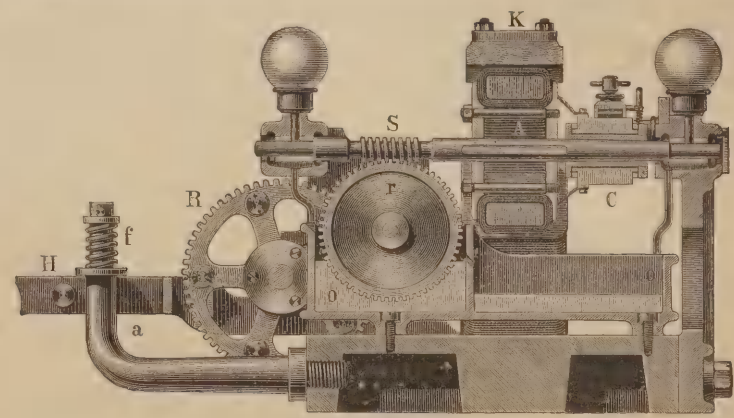


Fig. 2. — Sonnerie Fein. Coupe.

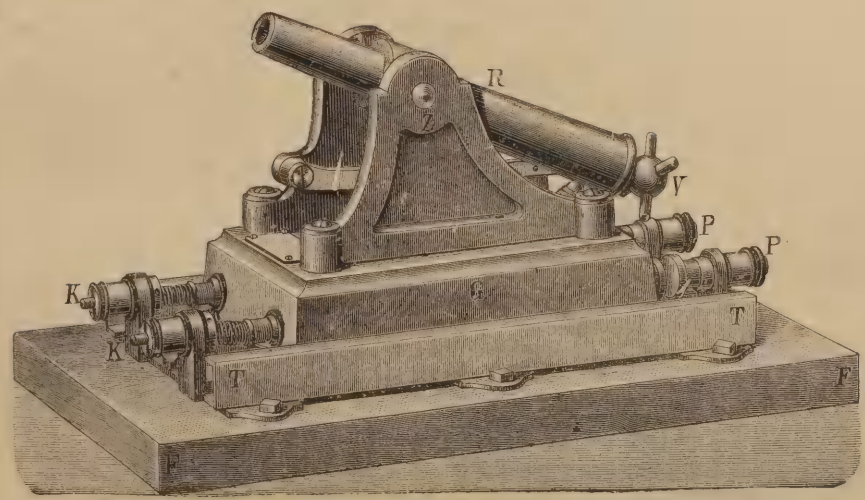


Fig. 4. — Signal à détonation Fein.

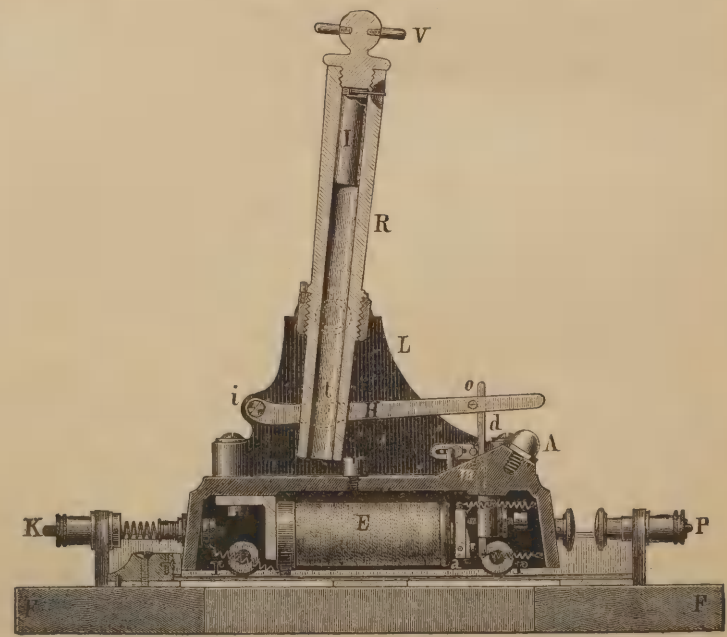


Fig. 5. — Signal à détonation Fein. Coupe.

teau d'une cloche de 50 centimètres de diamètre, chaque tour de la roue R donne cinq coups de cloche.

Le moteur tourne à 1920 tours par minute, la réduction de vitesse de A à R est de 240 : 1 ; la roue R décrit donc 8 tours par minute et donne 40 coups de cloche dans le même intervalle de temps.

Fig. 3. — Signal à détonation Fein.

Le bras recourbé *a* porte un ressort *f* qui amortit les mouvements du levier H. La roue dentée *r* tourne dans une boîte remplie d'huile. Le mécanisme est complété par un parafoudre et un coupe-circuit de sûreté.

Le courant peut être pris sur un réseau de distribution, ou bien il est fourni par une dynamo placée au lieu d'émission des signaux. Dans quelques cas, il peut être préférable de se servir d'une forte batterie d'accumulateurs. En tout cas, ce dispositif est un des premiers qui permettent l'emploi de courants à haute tension, et à ce point de vue il est intéressant. Il a d'ailleurs trouvé de nombreuses applications comme avertisseur d'incendie.

Le signal à détonation est destiné aux mêmes usages. La figure 3 en montre l'application, la figure 4 est une vue de l'appareil, et la figure 5 en fait voir l'agencement intérieur.

Une colonne de fonte porte la boîte en tôle qui protège l'appareil et qui est munie d'une ouverture pour l'échappement des gaz provenant de l'explosion.

La partie principale de l'appareil à signaux est le petit canon de bronze R, que l'on charge par la culasse V avec une cartouche Lefaucheux ; la pointe de l'amorce est logée dans une cavité latérale du canon, comme le montre la figure 5. Le canon repose sur un affût et les tourillons Z sont fixés plus près de l'embouchure que de la culasse, de sorte que la partie postérieure est plus lourde.

Le canon étant chargé, on l'amène dans la position indiquée par la figure 5 ; on l'y maintient au moyen d'une cheville *t* qui vient se loger dans une entaille pratiquée dans le levier H mobile autour de *i* et reposant par une goupille *o* sur une petite saillie du levier d'armature *d*. Lorsqu'un courant est lancé dans l'électro-aimant E, celui-ci attire son armature dont le levier *d* est poussé à droite ; par suite H perd son point d'appui en *o* et tombe. Le canon R devient donc libre et tournant autour de son tourillon tombe à droite, de sorte que le détonateur vient frapper sur l'enclume A, et le coup de feu part.

Pour éviter que le recul dû à la détonation ne puisse endommager les appareils, la plaque de fondation de l'affût est pourvue de rouleaux *r r* qui se meuvent entre les rails T T sur la plaque de base F. Le canon peut donc reculer et les tampons P P reçoivent le choc et le rendent inoffensif.

La ligne est reliée aux bornes K et K_1 fixées sur la base F, la communication avec l'électro-aimant est établie par des ressorts à boudin.

Le service est assuré avec la plus grande sécurité pour une ligne de 10 kilomètres de fil de fer ordinaire de 4 millimètres par une pile de trois petits éléments Meidinger.

E. Zetzsche.

L'ÉLECTRICITÉ ET LA VÉGÉTATION

Il est vraiment presque impossible de ne pas croire *a priori* que l'électricité doit exercer une influence sur les actions vitales. Nous la voyons sans cesse intervenir de la manière la plus puissante dans les réactions chimiques ; ou elle les modifie, ou elle les fait naître ; elle n'a pas moins de part dans les actions physiques. Or, les phénomènes vitaux sont d'ordre physique ou chimique, chimique surtout peut-être : comment l'énergie électrique serait-elle sans action sur eux ? D'ailleurs, on sait qu'elle est un des éléments inséparables de la vie ; on l'a trouvée accompagnant tous les actes biologiques ; si elle est une résultante, il est impossible de ne pas admettre qu'elle est en même temps un facteur.

Son influence sur les actes de la vie animale est depuis longtemps certaine, et néanmoins il est permis de dire qu'elle est encore bien incomplètement connue. On connaît ses actions passagères, contractions musculaires, etc., mais ses effets modificateurs sont assez mal définis.

Il n'y a qu'à voir à ce sujet l'incertitude des applications de l'électricité à la thérapeutique. Je sais que certains docteurs, et fort distingués, appliquent l'électricité et ont des méthodes à eux ; mais d'autres docteurs, non moins distingués, l'appliquent en sens contraire dans les mêmes cas. Il semble qu'on n'ait acquis quelques notions précises sur ce fait que depuis les travaux récents, notamment ceux de d'Arsonval, qui nous présente le cas à peu près unique de la réunion en un savant d'un électricien et d'un physiologiste.

Il est vrai que les phénomènes à étudier sont extrêmement complexes, et je dirais presque que la thérapeutique générale n'est pas beaucoup plus avancée que la thérapeutique électrique. Il y a peu de remèdes dont l'action soit connue, régulière, et qui puissent être appliqués à coup sûr : il y en a beaucoup qu'on ordonne un peu au hasard, après s'être assuré par un diagnostic soigneux (car pour le diagnostic, au contraire, nos médecins sont d'une grande habileté) que si le remède ne fait pas de bien, il ne pourra faire de mal.

Il semblerait que l'action de l'électricité sur la végétation dût être plus aisée à constater et à observer. Le processus de la vie végétale est beaucoup plus simple que celui de la vie animale, bien qu'éminemment complexe encore. Malgré cela, et en dépit d'assez nombreuses expériences, cette action est encore assez imparfaitement connue, et même tout à fait niée par certains.

Il ne serait pas intéressant de reprendre depuis l'origine l'énumération des essais divers et contradictoires qui se sont succédé depuis un siècle et demi environ.

Le journal *Electricité* en a donné l'année dernière une histoire rapide très complète.

Ce qu'il faut retenir, ce sont les procédés employés. Ils sont de deux classes : le procédé statique, dans lequel on modifie la différence de potentiel entre le sol et l'atmosphère par l'introduction de pointes ou de collecteurs de formes variées : le procédé dynamique, dans lequel on soumet tout ou partie de la plante et du sol à un courant électrique.

On a fait également usage d'une méthode mixte, qu'on pourrait nommer dynamo-statique, dans laquelle on crée entre le sol et l'atmosphère une différence de potentiel artificielle au moyen de machines statiques.

Naturellement, les expériences du siècle dernier dérivaient du procédé statique. On crut reconnaître une action très marquée augmentant l'activité de la végétation ; toutefois les résultats sont assez vagues et passablement contradictoires.

Au commencement du siècle, au contraire, après l'invention de la pile, presque tous les essais dérivent du procédé dynamique et les résultats sont assez concluants dans le sens de l'action activante de l'électricité ; toutefois, les expériences ont un peu le caractère d'essais de laboratoire, ce qui diminue leur autorité.

Vers le milieu du siècle on commence à appliquer un procédé simple, consistant à former une pile de toutes pièces en enfonçant dans le sol, aux deux extrémités du terrain en expérience, une plaque de zinc et une plaque de cuivre que l'on réunit à travers l'air au moyen de fils conducteurs isolés passant au-dessus des végétaux en observation.

Plusieurs essais sont faits, les résultats sont peu concordants ; divers savants concluent négativement.

Des expériences méthodiques ont été faites en 1878 par M. Grandeau, dont la compétence

agronomique est bien connue. Il mit des plantes dans une cage métallique, les soustrayant à l'influence de l'électricité atmosphérique, et reconnut que l'activité de la végétation était diminuée dans une très forte proportion : cet examen fut complété par une analyse chimique montrant quels sont les éléments altérés, les plantes soustraites ayant moins d'eau et plus de matières minérales.

Des expériences entreprises en même temps par M. Leclerc avec la même méthode donnèrent le même résultat.

Voici une série importante d'expériences faites sur une grande échelle et pendant une longue durée par M. Lemstrom.

Il employa ce que nous avons appelé le système mixte ou dynamo-statique : une machine électrique avait un de ses pôles au sol, l'autre prolongé au-dessus du terrain en expérience par des fils munis de pointes de manière à provoquer un écoulement continu d'électricité par une différence de potentiel.

Les essais furent faits d'abord à Helsingfors, c'est-à-dire dans une région très septentrionale.

On commença par des expériences restreintes faites sur des graines semées dans des pots à fleurs. On eut soin de faire passer le courant dans un sens à travers certaines plantes, en sens inverse à travers d'autres, en laissant les dernières comme témoins. On constata toujours un avantage très notable en faveur des plantes électrisées.

On entreprit alors des essais en grand, qui furent poursuivis pendant trois années. Le système employé était le même ; la machine statique avait son pôle négatif à la terre, et elle tournait tous les jours pendant huit heures. Les végétaux soumis à l'expérience étaient variés : il y avait des betteraves, des pommes de terre, des carottes, des panais, des choux blancs, etc.

On trouva un avantage d'environ un tiers pour la partie électrisée du champ ; on reconnut en même temps que toutes les espèces n'étaient pas également développées. L'une d'elles même, le chou blanc, semblait avoir plutôt souffert de l'effet électrique.

Les expériences de 1887 portèrent sur les céréales ; le résultat fut très favorable.

Nous avons dit que les travaux avaient eu lieu en Finlande ; c'est un climat très spécial. On voulut les répéter dans des zones plus tempérées, et en 1888 M. Lewis fit quelques essais en Bourgogne. Les résultats furent dans le même sens, mais il parut qu'il serait nécessaire de tenir compte de la température et d'arrêter l'action électrique aux moments où le soleil est chaud.

Cette série de résultats est certainement fort intéressante ; en voici une autre qui ne l'est pas moins ; elle a été faite par M. Spechnew.

Il a appliqué les deux méthodes, dynamique et statique ; il faut même citer une expérience toute spéciale, consistant à électriser les semences préalablement ramollies dans l'eau avant de les mettre en terre ; elles semblent avoir donné des plantes d'un développement plus vigoureux.

Une série fut instituée avec les plaques zinc-cuivre enterrées aux extrémités d'une plate-bande et réunies par un fil de cuivre. L'influence du courant résultant paru très favorable au développement des plantes potagères.

Une autre série d'essais fut faite en répartissant sur la surface du champ des perches portant des collecteurs ayant la forme de couronnes, avec des dents de cuivre doré ; divers grains furent semés et les récoltes comparées avec un champ témoin pendant cinq années successives.

L'électroculture, car on lui a déjà donné un nom, donna des bénéfices variables avec les espèces, mais toujours de proportions très notables, allant, par exemple, de 11 o/o pour la pomme de terre, à 61 o/o pour l'avoine.

La maturation est accélérée et les plantes semblent beaucoup mieux résister aux maladies qui les attaquent d'ordinaire.

Nous nous arrêterions à ces expériences importantes, sans citer divers autres essais de proportions plus restreintes faites en divers points.

Il semble vraiment qu'après un ensemble de résultats aussi concordants, on peut considérer la conclusion favorable comme ayant au moins un bon commencement de preuves. Voici pourtant qu'elle est absolument niée par M. Bruttini, qui a répété toutes les expériences et appliqué successivement les diverses méthodes.

Premièrement, il soumet des graines dans un vase à l'action du courant de la pile Daniell, et recherche si quelques différence se manifeste entre les plantes et dans la composition du sol suivant leur position relativement aux électrodes ; il n'en constate aucune.

Deuxièmement, il électrise des graines ramol-

lies, tant par le courant continu que par le courant d'induction, comme l'avait fait Spechnew, et ne trouve aucune différence entre le développement de ces semences et celui des semences non électrisées.

Troisièmement, il fait passer le courant de la pile à travers le sol d'une caisse et compare le développement des plantes qu'elle renferme à celui des plantes d'une autre caisse pareille formant témoin ; il ne constate rien de net.

Il essaie d'ailleurs, sans résultat, l'effluve électrique obtenue avec la bobine de Ruhmkorff.

Quatrièmement enfin, il essaie l'action de l'électricité atmosphérique, soit comme Grandeau en soustrayant les plantes à son influence, soit comme Spechnew en introduisant des collecteurs à pointes ; il trouve quelques petites différences, mais rien de précis.

Il conclut donc, peut-être un peu trop radicalement, que l'électricité n'accélère pas la germination et n'exerce pas d'action favorable sur le développement des plantes.

Les dernières expériences de M. Bruttini datent de 1892.

En voici de la même époque qui ont des résultats tout opposés.

M. Lagrange a opéré en Belgique sur un terrain de 33 mètres de longueur sur 8 de largeur, qu'on a divisé en trois parties et ensemencé de pommes de terre. La première parcelle a été traitée par la méthode dynamique avec plaques enterrées, la seconde cultivée à la manière ordinaire, la troisième a été semée de paratonnerres.

Cette troisième parcelle a donné des résultats plus beaux que les autres de 50 o/o, et obtenus quinze jours plus tôt. En échange, le premier secteur, cultivé par la méthode électro-dynamique, donnait un quart en moins que le second ; il est vrai que les feuilles ont paru plus belles et plus abondantes.

En même temps que M. Lagrange, M. Paulin, directeur de l'école des frères de Montbrison, faisait un essai analogue au moyen de perches portant un paratonnerre et reliées avec un réseau de fils enfoncés dans le sol. Les résultats, constatés par diverses commissions, ont été favorables.

Tel semble être l'état de la question. En résumé, il y a du pour et du contre, mais les expériences positives sont plus nombreuses que les expériences négatives ; elles ont été de plus faites dans des conditions plus larges et avec des durées plus grandes, en sorte qu'elles se rapprochent plus de la pratique. Les expériences de M. Bruttini, par exemple, ont été faites sans aucun doute avec beaucoup de conscience, mais sur une échelle restreinte. D'ailleurs, en thèse générale, une expérience négative vaut beaucoup moins, comme on sait, qu'une expérience positive.

L'ensemble de ces résultats, malgré leur contradiction, consolide plutôt l'idée *a priori* que nous avions énoncée ; il semble bien que l'électricité a une action sur la végétation ; mais il semble aussi que la manière dont cette action s'exerce nous est encore mal connue.

La question est évidemment très complexe : Comment faut-il appliquer l'électricité ? Les essais semblent donner quelque avantage à la méthode statique, mais le fait est-il bien prouvé ; surtout est-il bien général ?

Les expériences de M. Lemstrom semblent montrer que les diverses espèces végétales ne profitent pas également d'un même traitement ; celles de M. Lagrange sembleraient indiquer que les tubercules veulent l'action statique, que les feuilles préfèrent l'action dynamique ; d'autre part, les résultats de Spechnew au jardin de Kiew sont de tendance plutôt contraire. Les études en France de M. Lemstrom montrent qu'il faudrait tenir compte de la chaleur du soleil et sans doute plus généralement des conditions climatériques. Tout est donc à résoudre, question de méthode, d'espèces, de lieux et de moments ; néanmoins, on emporte l'idée que le principe est vrai et que si l'électroculture est loin d'être réalisée, elle est réalisable.

FRANK GÉRALDY.

CHRONIQUE ET REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

Wattmètre différentiel pour courants alternatifs, par A.-E. Kennelly [1].

La mesure du rendement des transformateurs est importante, parce que, outre le coût de la

[1] *The Electrical Engineer*, 21 décembre 1892.

puissance dépensée dans l'excitation, les transformateurs à mauvais rendement diminuent, en s'échauffant trop, la limite de la puissance qu'ils pourraient fournir si les matériaux qui les composent étaient plus judicieusement utilisés.

Les premières méthodes d'essai des transformateurs ont été remplacées presque entièrement par les méthodes si diverses qui emploient le wattmètre. Ces instruments permettent de mesurer avec une précision suffisante les pertes dans les transformateurs à faible charge. Quoique l'emploi de deux de ces instruments ou de deux mesures avec le même instrument, l'une pour la puissance absorbée, l'autre pour la puissance fournie, permette de déterminer les rendements à toutes les charges, il est avéré que la méthode est d'autant moins sensible que les lectures donnent des nombres plus élevés, inconvénient qui a d'ailleurs été supprimé dans les méthodes différentielles imaginées par M. Sumpner [1] et M. Hopkinson.

L'instrument que nous allons décrire est un wattmètre différentiel basé sur le principe de ces méthodes ; cet instrument a été construit au aboratoire Edison ; c'est un double électrodynamomètre du type unifilaire. Les deux dynamomètres ont leurs bobines mobiles solidarisées par une tige en aluminium de 8 centimètres de ongueur. Le wattmètre supérieur se place dans e circuit primaire du transformateur à essayer, le wattmètre inférieur dans le secondaire. La puissance absorbée est donc mesurée par le premier, la puissance recueillie est mesurée par e second, de sorte que si les sensibilités des deux wattmètres sont égalisées, c'est-à-dire lorsqu'elles sont équilibrées différentiellement, l'indication de la tête de torsion correspond à la somme des pertes dans le transformateur.

En admettant que la sensibilité de chaque dynamomètre soit telle qu'un degré de torsion corresponde à 5 watts et que les deux appareils soient intercalés séparément dans les deux circuits d'un transformateur de 20 kilowatts fonctionnant à pleine charge, l'instrument supérieur indiquerait, par exemple, 20 750 watts avec une torsion de 4 150 degrés, l'instrument inférieur 20 000 watts avec une torsion de 4 000 degrés. Cette sensibilité serait évidemment insuffisante, tandis que par la combinaison des deux instruments, la torsion résultante n'est que de 150 degrés. Une incertitude de 1 o/o dans les indications des instruments indépendants affecterait les résultats de 207,5 + 200 ou 407,5 watts. Dans l'instrument différentiel, 1 o/o de déviation à la même charge ne représente qu'une erreur de 1,5 watt.

L'ossature de l'instrument est entièrement en ébonite ; il est monté sur un trépied de cuivre. Pour éviter de trop fréquentes répétitions, nous appellerons S la bobine fixe du dynamomètre supérieur, *s* sa bobine mobile, I et *i* les bobines correspondantes du dynamomètre inférieur.

Dans un instrument différentiel de ce genre, il est important que S n'ait aucune influence sur *i*, ni que I puisse influencer *s*, de sorte que l'induction mutuelle entre ces couples de bobines opposées doit être négligeable. Ce résultat est atteint en plaçant les deux dynamomètres à angle droit, l'un par rapport à l'autre ; mais il subsiste une induction mutuelle résiduelle due aux composantes axiales des bobines qui ne peuvent être représentées par de simples solénoïdes. Comme cette influence résiduelle pourrait introduire une erreur très appréciable dans le cas des puissances élevées, il est nécessaire de l'éliminer. On y arrive en se servant de bobines auxiliaires constituées par un seul tour de fil et fixées à côté de l'instrument dans des positions déterminées par tâtonnement. Tous les conducteurs dans le voisinage de l'intrument doivent être tordus ensemble pour éviter toute influence électromagnétique extérieure.

Il y a quatre enroulements sur I, et quatre sur S. Les enroulements présentent les constantes indiquées dans le tableau ci-dessous.

Bobine	Nombre de spires	Nombre de couches	Diamètre du fil millimètres	Résistance à 20°C. en ohms	Inductance en millihenrys
S 1	432	8	0,45	7,11	5,44
S 2	120	4	0,7	0,934	0,588
S 3	28	2	1,8	0,0388	0,055
S 4	6	1	3,8	0,0028	0,023
I 1	120	4	1,0	0,36	0,389
I 2	28	2	2,3	0,22	0,052
I 3	4	1	Bande 10 sur 0,5		
I 4	2	1	Bande 22 sur 0,5		

Les combinaisons de ces huit bobines permettent d'employer l'instrument avec toutes les puissances jusqu'à 100 kilowatts.

[1] *La Lumière Électrique*, t. XLV, p. 391.

Les deux petites bobines suspendues sont en ébonite. Elles ont 2,8 cm. de diamètre extérieur, 0,75 de diamètre intérieur et une épaisseur de 0,96 cm. Elles sont enroulées de 675 spires en 27 couches de fil de 0,25 mm.; leur résistance est de 20 ohms et leur inductance de 6,6 millihenrys. Chaque bobine pèse environ 30 grammes et le poids total de la suspension est de 65 grammes. Quatre connexions doivent être maintenues d'une façon permanente, une par le fil de torsion, une autre par l'ailette amortissante, et deux autres au moyen de spirales en fil de cuivre fin.

Le fil de suspension est en cuivre, de 0,115 mm. de diamètre et 32,6 cm. de longueur. Son moment de torsion est de 18,6 centimètres-dynes par radian et l'on peut faire un tour complet sans fatiguer le fil.

Cet instrument est monté avec le transformateur à essayer, comme le montre la figure 1. On compense d'abord l'induction mutuelle entre I *s* et S *i*, puis on équilibre les deux wattmètres, en plaçant les bobines fixes en série et les bobines mobiles en dérivation avec des résistances non inductives en circuit, et l'on règle ces résistances jusqu'à ce que l'équilibre soit établi. Pour 1000 volts de tension primaire, il faut environ 20000 ohms dans le circuit primaire de la suspension.

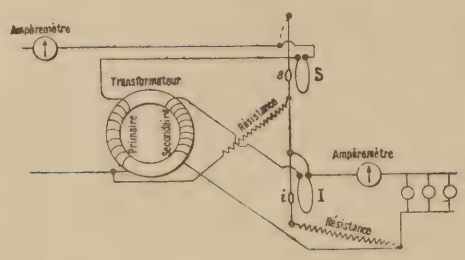


Fig. 1. — Emploi du wattmètre différentiel

Lorsque les connexions sont établies comme l'indique le schéma et lorsque la bobine secondaire est ouverte, la torsion nécessaire pour revenir au zéro est uniquement due au dynamomètre supérieur et mesure la perte dans l'excitation. Le secondaire débitant sur des lampes, la torsion augmente et mesure la perte dans le transformateur plus deux ou trois watts absorbés dans *i*. Si l'on veut analyser la perte totale et séparer la perte par hystérésis des courants de Foucault, il faut introduire des ampèremètres dans les deux circuits, primaire et secondaire. Dans tous les cas, il faut déterminer la puissance débitée par le secondaire au moyen d'un ampèremètre et d'un voltmètre.

Il est facile de démontrer qu'avec cet instrument différentiel les résultats ne sont pas affectés par la forme de la courbe que donne la force électromotrice du générateur et que l'erreur due au déphasage dans les bobines mobiles est tout à fait négligeable lorsqu'on emploie des résistances non inductives convenables.

A. H

Les feux d'artifice électriques.

En 1888, alors qu'il était chef électricien du Conservatoire national des arts et métiers, M. E. Champion conçut la première idée de cette application nouvelle de l'électricité. Il confia ses plans à M. Masson, sous-directeur de l'établissement, qui l'encouragea à continuer ses recherches et à prendre les brevets d'invention que nous analysons en ce moment.

Après deux années de luttes, il parvint à la fin de l'année 1890 à faire accepter sa conception par M. Lointier, directeur-propriétaire du Casino de Paris, qui se trouvait précisément en pleine fièvre d'improvisation et cherchait du nouveau, du brillant et du merveilleux.

Ce théâtre était merveilleusement choisi, le Casino étant entièrement éclairé à la lumière électrique, et employant un courant de 800 ampères et de 110 volts, soit 88000 watts, que l'on pouvait à un moment donné employer tout entier au service de cette nouvelle et surprenante pyrotechnie.

Le système de M. Champion consiste à remplacer les feux obtenus par la combustion de la poudre, en employant des lumières électriques apparaissant à un moment donné et dans un endroit déterminé.

Les avantages d'une semblable substitution sont tellement évidents, qu'il ne sera point nécessaire de les énumérer longuement. Les flammes électriques ne dégagent aucune odeur, de sorte que les nouveaux feux d'artifice peuvent se donner dans des espaces clos, comme les salles de spectacle, ce qui était complètement impossible avec la pyrotechnie à la poudre. Les effets peuvent paraître et disparaître avec une rapidité dont les anciennes pièces d'artifice ne pouvaient donner qu'une idée des plus impar-

faites. Enfin, les combinaisons qui plaisent peuvent revenir indéfiniment aussi longtemps et aussi souvent qu'elles excitent les applaudissements.

Ces résultats précieux sont obtenus par M. Champion de deux manières différentes, soit par le mouvement de lampes à incandescence, soit par le jeu d'un tableau spécial de distribution dont la marche est réglée d'avance. Dans ce cas des touches métalliques viennent laisser passer les courants dans un ordre invariable. On comprend même que l'on pourrait avec un exercice spécial varier indéfiniment les effets, et jouer des airs de pyrotechnie comme des symphonies.

Les lampes à incandescence sont teintées de couleur différente, et dans la disposition que l'on donne aux séries on tient naturellement compte des nuances variées que l'on a choisies. On peut en outre semer parmi les lampes à incandescence des lampes à arc et des projecteurs d'un éclat dont rien ne limite l'intensité que la force du courant disponible. Le peu de durée des effets dispense naturellement d'avoir recours à de véritables régulateurs.

Comme il n'y a pas de feu d'artifice sans détonations, M. Champion a imaginé de remplacer pour ce détail important la poudre par un mélange d'oxygène et d'hydrogène, ou plus simplement de gaz d'éclairage et d'air atmosphérique dans une proportion déterminée.

Dans son brevet, l'inventeur indique l'emploi du pistolet de Volta, mais il a remplacé ces organes dispendieux par de simples ballons en caoutchouc auxquels il met le feu avec une étincelle électrique. Malgré le faible volume de ces engins, le bruit était positivement extraordinaire, ce qui ne nous surprend pas, car nous avons entendu bien des fois les aéronautes forains produire aussi des détonations prodigieuses par ce procédé aussi simple qu'économique.

Dans les représentations données en plein air, rien n'empêche de marier les effets du feu d'artifice électrique à ceux d'un feu d'artifice ordinaire, qui ne sont pas bannis d'une façon absolue des représentations données dans des salles aussi vastes que le Casino de Paris.

Les effets les plus applaudis étaient ceux que l'on obtenait à l'aide de la rotation de soleils durant beaucoup plus longtemps que ceux des feux d'artifice à la poudre, et qui étaient susceptibles de produire des effets beaucoup plus variés, car quelques-uns étaient animés d'un mouvement double, c'est-à-dire étaient composés de deux soleils tournant en sens inverse. Il y avait même un soleil d'un effet tout à fait étourdissant qui était animé d'un mouvement triple.

M. Champion étant actuellement en Amérique, nous avons dû recourir à son brevet pour faire dessiner les deux diagrammes ci-après destinés à donner une idée générale de son système.

La figure 1 montre l'allumage de lampes à

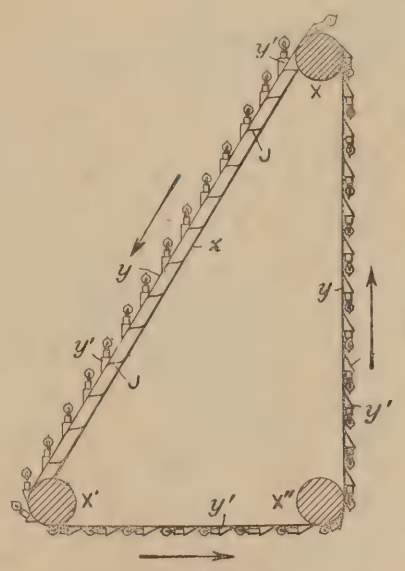


Fig. 1. — Tablier métallique tournant pour effets de cascades lumineuses.

incandescence fixées sur un tablier métallique qui les entraîne dans son mouvement de circulation autour des trois points X X' X'', dans le sens indiqué par les flèches.

Les lampes prennent successivement différentes positions qui sont déterminées à l'avance par la forme des poulies sur lesquelles elles passent. Elles portent à l'une de leurs bornes un fil qui complète le circuit lorsqu'il frotte sur la grille Z ou sur les conducteurs J qui en dépendent. Le tablier et la grille sont attachés aux pôles différents d'une dynamo.

La figure 2 représente la disposition générale adoptée pour mettre en feu des pièces plus compliquées.

La source est supposée d'origine hydro-électrique. Sept conducteurs émanent de chacun

des pôles et peuvent être combinés deux à deux d'une façon quelconque, ce qui permet d'avoir recours à un grand nombre de combinaisons différentes.

Le levier *ef* est employé pour donner naissance à des effets périodiques, se reproduisant une fois à chaque rotation complète, autour de son point de centre. Les fils positifs émanent d'un clavier, qui permet de changer rapidement les couleurs d'une série par un mouvement horizontal. Quant aux fils négatifs, ils sont attachés aux parties métalliques du commutateur circulaire, en nombre variable suivant les besoins de la représentation.

La manière dont le clavier fonctionne peut se comprendre en examinant avec soin les six lignes horizontales qui donnent le feu à six séries de trente lampes. Les axes des deux pre-

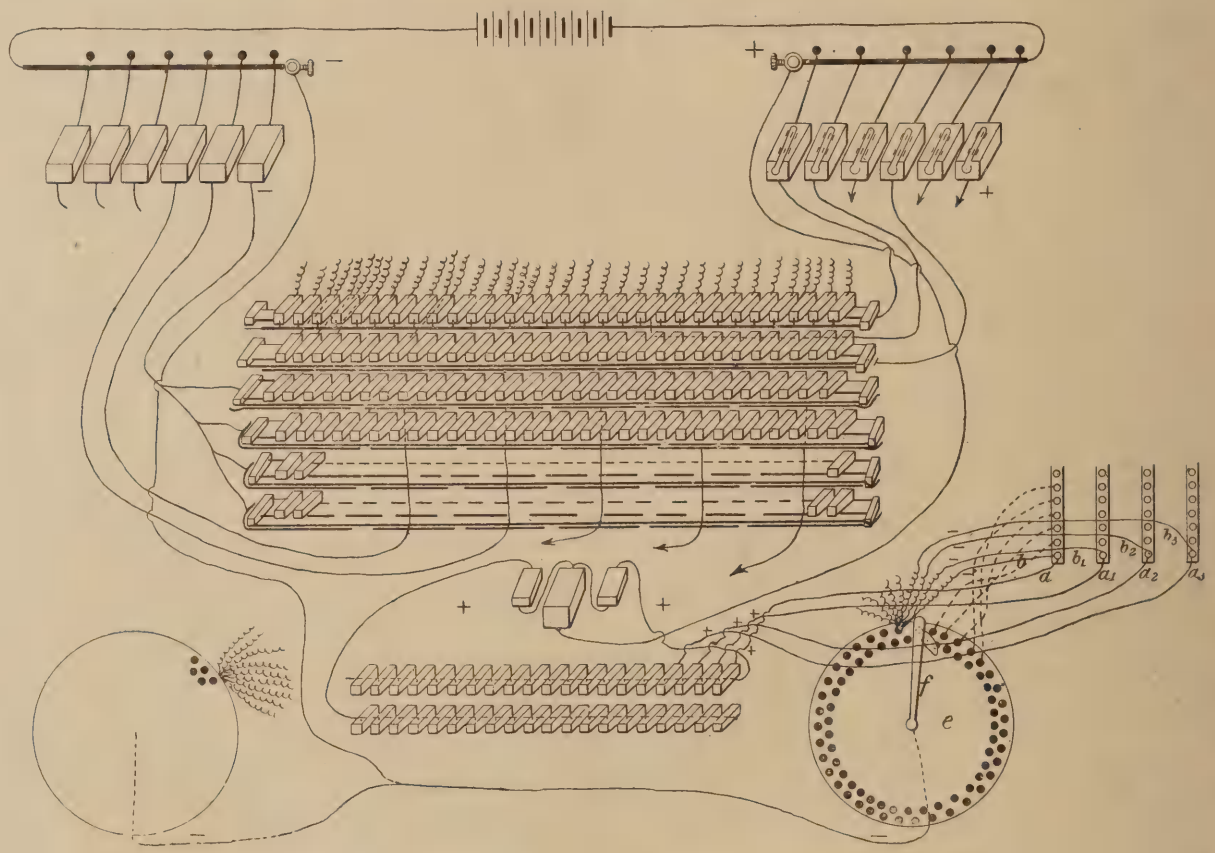


Fig. 2. — Dispositif général pour des effets quelconques.

miers tiroirs sont reliés au pôle positif, et ceux des quatre autres au pôle négatif. Toutes les tringles doivent être considérées comme rattachées au pôle négatif. Le contact des tiroirs avec les tringles fait passer le courant dans les lampes qui comme on le voit dans la droite de la figure, sont disposés par séries verticales. Ce contact peut être traduit par un déplacement de gauche à droite, ou par un soulèvement. Ce dernier cas paraît être celui des touches des quatre dernières séries, que l'on doit soulever individuellement, car les tringles sont partagées en différentes sections. Les circuits principaux sont pourvus ou peuvent être pourvus de rhéostats si on les considère comme indispensables. La force motrice nécessaire au mouvement des commutateurs peut être fournie par la dynamo elle-même. On peut employer soit des courroies, soit un transport électrique de force pour faire mouvoir les parties du clavier qui seraient trop difficiles à remuer.

Le soleil triple était soudainement remplacé

par l'embrasement général de toutes les pièces montées, qui étaient au nombre de quinze, formant un bouquet d'un incomparable éclat.

Les habitués du Casino n'ont point encore oublié ces représentations féeriques, que l'on devait successivement compléter par des pluies de fusées multicolores, des cascades, des tourbillons, des girandoles, et qui ont duré trop peu de temps pour que la grande presse ait été à même d'en parler comme d'un événement parisien échappant aux fourches caudines du fermier d'annonces.

Le clavier qui servait à produire ces partitions de couleur était placé au centre même du feu d'artifice, et soigneusement dissimulé, de sorte que le public ne pouvait se rendre compte de la manière dont étaient exécutés les effets fantasmagoriques qui terminaient chaque soir le spectacle, et avaient invariablement l'honneur d'être bissés.

Malheureusement, après deux mois de succès, les représentations du feu d'artifice électrique furent interrompues par une catastrophe. Un incendie qui s'alluma deux heures après la représentation, et dont la cause véritable n'a jamais été bien nettement établie, mit les appareils hors de service. Les expériences ainsi interrompues par cas de force majeure n'ont point été reprises. M. Champion pourra donc produire à Chicago des effets que l'on pourra considérer comme complètement inédits.

Les détails que nous avons donnés sur ces grands développements pris par les illuminations électriques sont suffisants pour permettre d'apprécier les chances de succès d'une invention transplantée dans un pays où l'on comprend si bien le rôle que l'électricité est appelée à jouer dans les fêtes et dans les cérémonies publiques. Comme nous l'avons déjà fait remarquer, de l'autre côté de l'Atlantique les autorités ne se contentent pas des effets banals et démodés que fournit l'éclairage au gaz.

L'intéressante invention de M. Champion nous reviendra probablement plus complète et plus brillante, comme tant d'autres, après avoir été recevoir à l'étranger une sanction que nous savons rarement donner à nos nationaux.

Espérons que le désastre du Casino ne sera pas pour l'inventeur une leçon perdue, et qu'en Amérique, où la prudence n'est pas une vertu positivement commune, il saura échapper, malgré les dangereuses intensités de courant et la multiplicité de conducteurs qu'il emploie, à toutes les mauvaises chances, même à celle d'une intervention malveillante, qui n'a peut-être pas été étrangère au sinistre qu'il a subi à Paris.

W. DE F.

La nouvelle lampe Westinghouse.

Cette nouvelle lampe qui, dit-on, n'empiète en rien sur les dispositions du brevet-monopole d'Edison, était attendue aux Etats-Unis avec quelque impatience. Annoncée depuis plusieurs

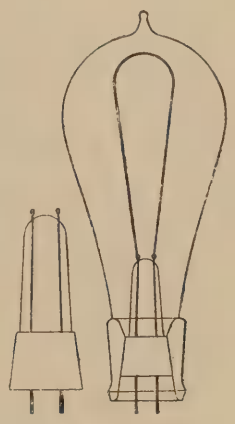


Fig. 1 et 2.

mois, la Compagnie Westinghouse, en avait fait mystère jusqu'ici. Enfin, récemment elle a invité un certain nombre de personnes à venir visiter son usine de Pittsburg, pour y examiner les grandes dynamos d'éclairage destinées à l'Exposition de Chicago, et par la même occasion, pour voir fonctionner la nouvelle « lampe séparable ».

Voici, d'après l'*Electrical World*, la description de cette lampe représentée par les figures 1 et 2.

Le globe est de la forme ordinaire, en poire, mais son extrémité inférieure est considérablement épaissie et présente un rebord, à la manière d'un goulot de bouteille. L'intérieur de ce goulot est conique et rodé avec soin pour recevoir le bouchon. Celui-ci, en verre, est de la forme

représentée par la figure 1. Il est également rodé de façon à s'adapter aussi exactement que possible dans l'ouverture du goulot. Il forme avec sa prolongation en verre un tout massif obtenu en coulant le verre autour des deux conducteurs d'entrée, qui sont ainsi emprisonnés dans le verre sur toute leur longueur.

Une innovation dans cette partie de la lampe, est la substitution du fer au platine. Ce dernier étant trop cher on a voulu le remplacer; mais le métal ne devant pas fondre ni être détérioré à la température de fusion du verre on a été conduit à adopter le fer. Pour donner de la solidité aux bouts sortants, on les a faits très gros.

Ce bouchon portant le filament est introduit dans l'ampoule de verre; puis on fait le vide dans celle-ci. Les fabricants disent qu'ils ne font pas le vide, puisqu'ils introduisent de l'azote dans le globe au fur et à mesure qu'ils en extrayent l'air; en réalité la quantité d'azote qui reste après l'opération paraît être aussi faible que la quantité d'air restant dans les lampes ordinaires.

La pression atmosphérique extérieure tend à maintenir le bouchon en place; pour plus de sécurité on coule sur celui-ci un ciment spécial qui ne craquèle pas à froid, mais qu'il est facile de ramollir par la chaleur, quand on veut enlever le bouchon.

Comme on le voit par la figure la lampe ne porte pas de garniture métallique. Mise en place, son rebord inférieur est maintenu par des ressorts dans la douille, et il suffit de tourner la lampe de 90 degrés pour mettre ses bornes en contact avec celles du circuit.

La nouvelle lampe Westinghouse est très simple; toutes ses parties en verre peuvent resservir indéfiniment. Mais il faut se demander si la différence de dilatabilité du fer et du verre n'est pas susceptible d'amener des dérangements. Les fabricants disent que l'expérience leur a prouvé que cet inconvénient n'est pas à craindre.

A. H.

Machine à courant continu sans collecteur de Bernstein (1) 1892, par M. E. Venezian.

La nouvelle machine de M. Bernstein est destinée à produire un courant continu sans employé de collecteurs ni de balais.

(1) *L'Elettricista*, janvier 1893.

Elle se compose de trois parties :

1° Un champ inducteur fixe ;

2° Une armature mobile ;

3° Une seconde armature fixe.

Le champ inducteur fixe est obtenu par un électro-aimant identique à ceux employés comme inducteurs dans les machines à courants alternatifs, c'est-à-dire présentant une série de pôles alternés. Les bobines de ces électros sont alimentées par le courant de la machine.

L'armature mobile (fig. 1) est formée d'un disque en étoile de substance non magnétique. Sur la circonférence de ce disque sont disposés des tubes D renfermant des masses magnétiques formées de fils de fer doux ou de lames minces isolées.

L'armature fixe se compose d'un anneau de fer sur lequel sont enroulées des bobines reliées

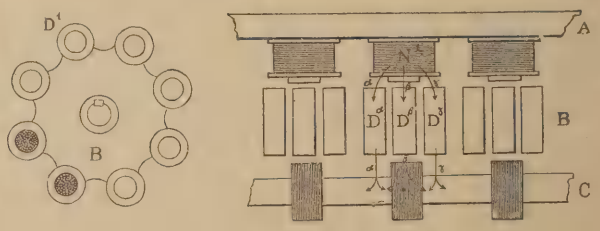


Fig. 1 et 2.

en série, les deux extrémités aboutissant à deux bornes de prise de courant.

Le fonctionnement de la machine se comprend facilement à l'inspection du diagramme de la figure 2, dans lequel A représente l'électro-aimant inducteur fixe, B l'armature mobile dans trois positions successives, et C l'armature fixe.

Lorsque la masse magnétique contenue dans un des tubes de l'armature se trouve dans la position D^{α} un peu avant le front du pôle N, les lignes de force qui le traversent vont en croissant et pénètrent dans l'anneau C en suivant les directions indiquées par les flèches L. Elles induisent donc dans la bobine *h* un courant de sens déterminé.

Lorsque le tube D^{α} passant la position D^{β} arrive à la position D^{γ}, les lignes de force qui traversent la bobine *h* la traversent en sens inverse du premier cas, et comme elles sont en décroissance le courant produit a le même sens que précédemment.

La même explication s'applique aux autres bobines de C. Si donc on enroule convenablement les bobines de C, c'est-à-dire les bobines placées en face des pôles nord dans un sens et celles placées en face des pôles négatifs dans le sens contraire, on obtiendra aux bornes un courant redressé. F. G.

Coupe-circuit multiple Pattison (1892).

Quand on abaisse les bras F F, ils viennent se prendre dans l'un des contacts élastiques *pp*, et, en même temps, l'excentrique D de l'arbre C_1, (fig. 3) entraîné dans la rotation de F, relève la tige L, de manière à serrer le disque métallique

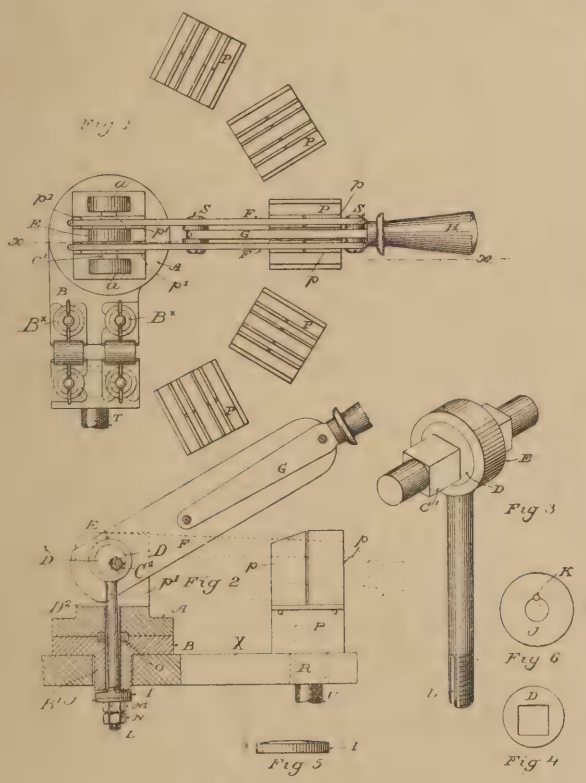


Fig. 1 à 6.

B sur A, centré sur la rondelle *o*, par la tige L et sa rondelle I, et à assurer ainsi, avec la fixité du bras par I J L et sa cale K (fig. 6), la sûreté de la transmission du courant de T à U par B A D P.

Quand on relève les bras F, l'excentrique D lâche, au contraire, I, de manière à laisser au bras toute liberté de pivoter sur B, afin qu'il se place librement au droit de l'un quelconque des contacts *pp*. G. R.

Raccordement Purcell (1892).

Ce raccordement très simple consiste (fig. 1) en une gaine métallique B, à fonds filetés, serrés

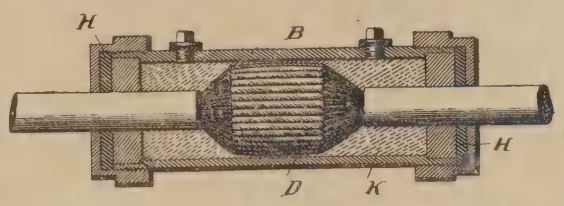


Fig. 1. — Raccordement Purcell.

sur rondelles en caoutchouc H, et qu'il suffit de retirer pour enlever facilement le raccord D en le glissant avec son isolant K dans la gaine B.

G. R.

La Station municipale d'électricité de Trente.

M. Hochenegg, ingénieur de la maison Siemens, qui dirige ses efforts vers la réunion des stations d'électricité avec les usines à gaz, vient de donner devant la Société des Ingénieurs du gaz de Kiel une démonstration des excellents résultats qui peuvent être obtenus dans cette direction, en communiquant les renseignements suivants sur la station municipale d'électricité de Trente.

Tandis que l'usine à gaz de cette ville n'avait réussi, au cours de ses dix années d'exploitation, à faire monter la consommation d'éclairage qu'à 2000 becs environ, la station d'électricité alimente déjà, deux ans après sa fondation, 7500 lampes à incandescence, 64 lampes à arc et 30 moteurs électriques d'une puissance totale de 175 chevaux. Comme la ville de Trente compte environ 22 000 habitants, on voit qu'on y trouve 40 lampes par 100 habitants, ce qui est une proportion très élevée pour une ville aussi tranquille.

Ces lampes se répartissent entre 1070 clients, soit un client pour 20 habitants. Parmi ces consommateurs on compte 300 maisons d'ouvriers, et ce n'est pas sans une certaine surprise que l'étranger voit briller la lumière électrique dans ces habitations peu aisées.

Cette extension considérable de l'éclairage électrique est due, en dehors des avantages spécifiques de la lumière électrique, au tarif excessivement avantageux fait aux consomma-

teurs. On compte simplement 1,05 fr. par bougie et par an, quelle que soit la durée de l'éclairage. Toutefois, afin de prévenir tout gaspillage de lumière, la municipalité se réserve le droit de la fourniture des lampes, et fait de ce chef un bénéfice assez considérable; cet excédent de dépense est principalement supporté par les clients qui s'éclairent longtemps et qui usent par conséquent leurs lampes plus rapidement.

Pour la transmission de force motrice on ne paye que 42,50 fr. par cheval nominal et par an, mais à la condition d'arrêter les électromoteurs au moment de la plus grande consommation de lumière; quoique l'exécution de cette condition soit assez difficile à contrôler, il faut dire que les abonnés s'y conforment rigoureusement.

En abaissant dans d'aussi fortes proportions le prix de la force motrice la municipalité de Trente a réussi à attirer dans cette ville beaucoup de petites industries qui s'exerçaient dans les parties méridionales du Tyrol. Quoique ces conditions particulièrement favorables soient dues en grande partie à la possibilité d'utiliser une magnifique chute d'eau, il faut dire que l'on pourrait atteindre une modicité de prix semblable avec les machines à vapeur à la condition de pouvoir donner à la consommation une extension aussi considérable qu'à Trente.

Afin de favoriser encore plus cette extension, la municipalité a décidé récemment de se charger elle-même des installations dans les maisons, en faisant payer pour l'amortissement et l'entretien de ces installations la somme de 13 centimes par bougie et par an, soit annuellement environ 2,15 fr. par lampe de 16 bougies.

L'exécution de cette installation avait été confiée à la maison Siemens, de Vienne, qui y appliqua le système de distribution à cinq fils. De la station centrale, établie à Ponte Cornicchio, le courant est mené à la ville sous la tension de 440 volts par deux canalisations principales séparées qui se bifurquent en un certain nombre de branchements allant en divers points de la ville, et tous reliés entre eux.

A l'intérieur de l'hôtel de ville, qui se trouve à peu près au centre de la ville, on a installé une station de compensation, où la tension totale de 440 volts est partagée entre cinq conducteurs à 110 volts. De cette station les divers conducteurs rayonnent vers tous les points de la ville. Comme réserve et pour soutenir les machines au cas où le débit maximum coïnciderait avec un temps de sécheresse, on a installé une batterie d'accumulateurs, qui a rendu service dans diverses occasions et qui fonctionne d'ailleurs régulièrement en hiver.

Le service de cette station d'électricité est des plus simples; le personnel, choisi parmi les ouvriers de la ville, s'en acquitte à la satisfaction générale. La simplicité du fonctionnement est telle que la direction a pu être confiée à un architecte de la ville. Le succès technique a assuré le succès financier de cette exploitation, qui a inauguré la mise à la portée de toutes les bourses de la lumière électrique.

A. H.

REVUE DES TRAVAUX

RÉCENTS EN ÉLECTRICITÉ

Un problème relatif à la fréquence des courants alternatifs, par M. E. Arnold [1].

Considérons un champ magnétique alternatif bipolaire produit, par exemple, par un anneau Gramme recevant le courant alternatif par deux points diamétralement opposés. Dans ce champ, nous faisons tourner deux spires A B et C D fermées sur elles-mêmes, et perpendiculaires l'une par rapport à l'autre. Supposons qu'au moment où le courant d'excitation passe par zéro A B soit perpendiculaire et C D parallèle à la direction du champ.

Appelons w_1 la vitesse angulaire du champ $= 2\pi n$, si n est le nombre de périodes;

w_2 la vitesse angulaire des spires A B et C D;

s la surface d'une spire en centimètres carrés;

H l'intensité maxima du champ supposé homogène;

φ l'angle correspondant à la variation de l'intensité de champ;

$\varphi \frac{w_2}{w_1}$ l'angle parcouru en même temps que φ par les spires A B et C D.

Le nombre de lignes de force traversant la spire A B, sera alors

$$Z_1 = H \sin \varphi \, s \cos \frac{w_2}{w_1} \varphi, \qquad (1)$$

[1] *Elektrotechnische Zeitschrift*, 20 janvier 1893.

et le nombre de lignes de force à travers C D :

$$Z_2 = H \sin \varphi \, s \sin \frac{w_2}{w_1} \varphi. \qquad (2)$$

Les forces électromotrices induites sont donc

$$e_1 = \frac{dZ_1}{dt} = H s \left(\cos \varphi \cos \frac{w_2}{w_1} \varphi - \frac{w_2}{w_1} \sin \varphi \sin \frac{w_2}{w_1} \varphi \right) \frac{d\varphi}{dt} \qquad (3)$$

$$e_2 = \frac{dZ_2}{dt} = H s \left(\frac{w_2}{w_1} \sin \varphi \cos \frac{w_2}{w_1} \varphi + \cos \varphi \sin \frac{w_2}{w_1} \varphi \right) \frac{d\varphi}{dt} \qquad (4)$$

Dans ces équations

$$\frac{d\varphi}{dt} = w_1.$$

Pour $w_1 = w_2 = w$, c'est-à-dire si les spires tournent synchroniquement avec les pulsations du champ, on a

$$e_1 = H s w (\cos^2 \varphi - \sin^2 \varphi) = H s w \cos 2\varphi \qquad (5)$$

$$e_2 = 2 H s w \sin \varphi \cos \varphi = H s w \sin 2\varphi \qquad (6)$$

D'où il suit que

$$e_1 = 0 \qquad \text{pour } \varphi = \frac{\pi}{4}, \frac{3}{4}\pi, \frac{5}{4}\pi, \frac{7}{4}\pi \ldots$$

$$e_2 = 0 \qquad \text{pour } \varphi = 0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3}{2}\pi \ldots$$

$$e_1 = \pm H s w \qquad \text{pour } \varphi = 0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3}{2}\pi \ldots$$

$$e_2 = \pm H s w \qquad \text{pour } \varphi = \frac{\pi}{4}, \frac{3}{4}\pi, \frac{5}{4}\pi, \frac{7}{4}\pi \ldots$$

c'est-à-dire que dans les spires A B et C D tournant synchroniquement avec le champ on induit des courants alternatifs dont la fréquence est double de celle du courant d'excitation et dont les forces électromotrices maxima sont égales, mais décalées l'une sur l'autre d'un quart de période.

Si w_1 n'est pas égal à w_2, l'inversion de la force électromotrice se produit pour d'autres valeurs de l'angle φ. Les équations (3) et (4) donnent les conditions générales. On obtient

$$e_1 = 0$$

quand

$$\frac{w_2}{w_1} \operatorname{tang} \varphi = \operatorname{cotang} \frac{w_2}{w_1} \varphi$$

et

$$e_2 = 0$$

quand

$$\frac{w_2}{w_1} \operatorname{tang} \varphi = - \operatorname{tang} \frac{w_2}{w_1} \varphi.$$

Si l'on fait la somme des couples pendant un tour entier, on obtient le résultat suivant. Dans le cas où le mouvement des spires est synchrone, on a $w_1 = w_2$ et la somme des couples de rotation est nulle. Au contraire, pour $w_2 \lessgtr w_1$, le couple résultant est différent de zéro, et atteint un maximum pour une valeur de w_2 très proche de w_1. Pour $w_2 < w_1$, le couple de rotation est négatif, on produit du travail extérieur; pour $w_2 > w_1$ le couple résultant est positif, et l'on absorbe du travail extérieur.

Si, au lieu de réunir les extrémités des spires, nous les attachons à des anneaux de contact, on peut obtenir dans le circuit extérieur un ou plusieurs courants alternatifs de fréquence double. Ainsi, en couplant ensemble deux alternateurs de mêmes nombres de pôles, et en excitant le champ magnétique de l'un par le courant que fournit l'autre, la première machine fournit un courant alternatif dont la fréquence est deux fois celle de la seconde machine.

Nous aurons occasion de revenir sur la signification pratique de ce problème.

A. H.

Recherches expérimentales sur les transformateurs à courants alternatifs, par M. J.-A. Fleming [1].

Tableau XIII. — Transformateur Thomson-Houston. N° 46 740. — Puissance = 4500 watts. Voltage secondaire = 50 et 100. Fréquence employée = 82,1 périodes par seconde. Température finale du transformateur = 39° C. Voltage primaire V_1 = 2400. Résistance du circuit primaire = 19,68 ohms à 39° C. Résistance du circuit secondaire = 0,019 ohm à 39° C.

Ce tableau montre que le courant primaire augmente de 0,083 à 1,96, le courant secondaire de 0 à 46 ampères. Le voltage secondaire tombe de 99,8 à 96,5. La puissance totale dissipée dans le transformateur varie entre 114 et 265 watts.

Tableau XXIV. — Transformateur Thomson-Houston. — Voltage primaire = 2400. Voltage secondaire à vide = 99,8.

Ce tableau montre que le courant primaire augmente de 0,083 à 1,96, le courant secondaire de 0 à 46 ampères. Les pertes dans le cuivre primaire augmentent de 0 à 76, les pertes dans

[1] *La Lumière Electrique*, t. XLVII, p. 330.

le cuivre secondaire de 0 à 40 watts. La puissance primaire réelle s'élève de 116 à 4695, la pnissance primaire apparente de 199 à 4704 watts. Le facteur de puissance varie entre 0,58 et 1,01.

Tableau XXV. — Transformateur Kapp. N° 570. — Puissance = 4,000 watts. Voltage secondaire = 100. Fréquence employée = 82,1 périodes par seconde. Voltage primaire V_1 = 2400. Résistance du circuit primaire = 11,38 ohms. Résistance du circuit secondaire = 0,024 ohm.

Ce tableau montre que le courant primaire augmente de 0,145 à 1,750, le courant secondaire de 0 à 40,89 ampères. Le voltage secondaire tombe de 99 à 97,1. La puissance totale dissipée dans le transformateur varie entre 152 et 236 watts.

Tableau XXVI. — Transformateur Kapp. — Voltage primaire = 2400, voltage secondaire à vide = 99,0.

Ce tableau montre que le courant primaire augmente de 0.145 à 1,75, le courant secondaire de 0 à 40,89 ampères. Les pertes dans le cuivre primaire augmentent de 0 à 34,5, les pertes dans le cuivre secondaire de 0 à 42 watts. La puissance primaire réelle s'élève de 152 à 4207, la puissance primaire apparente de 348 à 4200 watts. Le facteur de puissance varie entre 0,61 et 1,01.

Tableau XXVII. — Transformateur Swinburne (type « hérisson »). N° 342. — Puissance = 3000 watts. Voltage secondaire = 100. Fréquence employée = 81,1 périodes par seconde. Température finale du transformateur = 63°C. Résistance du circuit secondaire = 0,051 ohm à 63° C.

Ce tableau montre que le courant primaire augmente de 0,756 à 1,567, le courant secondaire de 0 à 30,2 ampères. Le voltage secondaire tombe de 101,8 à 99. La puissance totale dissipée dans le transformateur varie entre 111 et 207 watts.

Tableau XXVIII. — Transformateur Swinburne. — N° 342. — Puissance = 3000 watts. Voltage secondaire = 100. Fréquence employée = 82,3 périodes par seconde. Température finale du transformateur = 63° C. Voltage primaire V_1 = 2400. Résistance du circuit primaire = 24,00 ohms à 63°C. Résistance du circuit secondaire = 0,051 ohm à 63°C.

Ce tableau montre que le courant primaire augmente de 0,756 à 1,567, le courant secondaire de 0 à 30,33 ampères.

Le voltage secondaire tombe de 101,9 à 98,6. La puissance totale dissipée dans le transformateur varie entre 117 et 217 watts.

Tableau XXIX. — Transformateur Swinburne. — Voltage primaire = 2400 volts. Voltage secondaire à vide = 102.

Ce tableau montre que le courant primaire augmente de 0,756 à 1,567, le courant secondaire de 0 à 30,33 ampères. Les pertes dans le cuivre primaire augmentent de 13,7 à 59, les pertes dans le cuivre secondaire de 0 à 46,9 watts. La puissance primaire réelle augmente de 121 à 3163, la puissance primaire apparente de 1816 à 3761 watts. Le facteur de puissance varie entre 0,07 et 0,84.

12. Les résultats de ces nombreuses observations sont représentés graphiquement dans une série de courbes que montrent les figures 8 à 45 (1). Pour chaque transformateur on a établi quatre diagrammes.

Le premier donne la perte totale, ou la courbe $P_1 - P_2$ en fonction de la puissance débitée par le secondaire, P_2; le même diagramme donne aussi la courbe de la perte dans le cuivre ($R I^2$) des deux circuits du transformateur. La différence entre ces deux courbes représente donc les pertes autres que celles dues à la résistance ohmique des circuits.

Le second diagramme représente la valeur des courants primaire et secondaire en fonction de la puissance débitée. Puisque tous les transformateurs à circuit magnétique fermé avaient un rapport de transformatisn de 24 à 1, le courant primaire et 1/24 du courant secondaire sont représentés à la même échelle.

Le troisième diagramme montre la courbe du rendement. Les rendements en o/o correspondant aux fractions décimales de la puissance secondaire sont calculés d'après la courbe des pertes totales.

La quatrième courbe est celle de la chute du potentiel secondaire, et donne la chute totale observée, la chute due aux résistances primaire et secondaire, et la chute due au décalage inductif. Les valeurs des rendements sont réunies

(1) Nous ne reproduisons pas toutes ces courbes; celles que nous omettons ressemblent aux courbes types que nous donnons; leurs valeurs limites ressortent des extraits des différents tableaux.

dans le tableau XXX pour les différentes fractions de la pleine charge.

13. Il est nécessaire de faire quelques remarques relatives à chacun des transformateurs, et d'en tirer différentes conclusions générales.

Transformateur Ferranti type 1885, 5 *chevaux. (Tableaux IX et X, figures* 8 *et* 9). — Il est visible que ce transformateur, en comparaison avec les appareils modernes, fait perdre beaucoup d'énergie dans la transformation. Mais

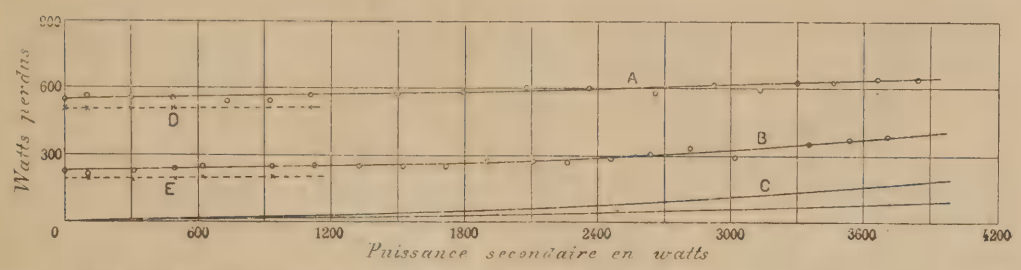


Fig. 8. — Transformateur Ferranti de 5 chevaux (type 1885). Pertes par le wattmètre.
A, pertes totales; B, pertes totales (type reconstruit); C, pertes RI^2 (type reconstruit); D et E, pertes totales mesurées au wattmètre Swinburne.

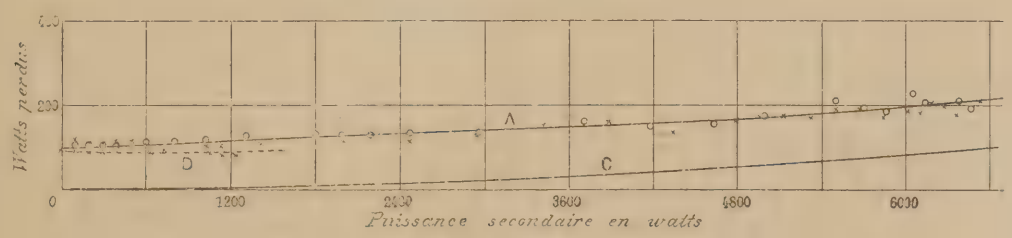


Fig. 15. — Transformateur Westinghouse. Pertes par le wattmètre.
A, pertes totales; C, pertes RI^2 totales; D, pertes par le wattmètre Swinburne.

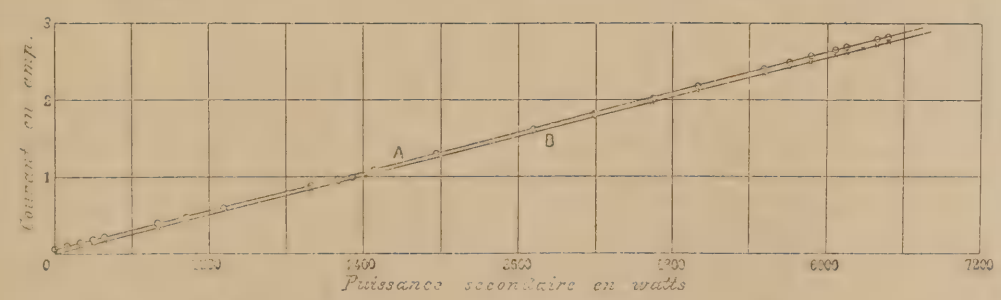


Fig. 17. — Transformateur Westinghouse de 6500 watts.
A, courant primaire; B, $\frac{1}{24}$ du courant secondaire.

nous devons rappeler qu'en 1885 on ne savait que très peu de chose sur les pertes dans le fer, et il ne faut pas s'étonner, que la construction de cet appareil soit imparfaite.

L'énorme perte de 549 watts dans le noyau lui donne un faible rendement à toutes les charges. Mais sa faible perte dans le cuivre lui assure une régulation remarquable. Il n'est guère nécessaire d'ajouter que le type actuel du transformateur Ferranti est beaucoup moins imparfait et peut être placé parmi les meilleurs.

Transformateur Ferranti 1885 *reconstruit. (Tableaux XI et XII, figures* 8 *et* 12). — Les courbes montrent l'effet obtenu en doublant la longueur des enroulements primaire et secondaire. Les pertes intérieures sont réduites de

moitié, tandis que les pertes dans le cuivre et la chute de potentiel secondaire sont doublées.

Transformateurs Ferranti type 1892, 15 *et* 20 *chevaux. (Tableaux XV à XX, figures* 20, 23 *et* 27). — Ces nouveaux transformateurs de M. Ferranti sont de très bons appareils. La perte totale à circuit ouvert du transformateur de 20 chevaux n'est que de 1,3 o/o de la puissance secondaire. Le rendement maximum est de 97,1 o/o, et le rendement au dixième de la charge totale est de 85 o/o, tandis que la chute de potentiel secondaire n'est que de 2,1 o/o.

Deux séries de courbes sont données pour le transformateur de 15 chevaux. Dans deux transformateurs essayés l'enroulement était différent, de sorte que les pertes extérieures étaient différentes dans les deux cas. Dans le transformateur ayant la plus grande perte totale, la perte dans le cuivre ($R I^2$) est la plus faible, et la chute secondaire est diminuée d'environ 1 o/o.

TABLEAU XXX

Rendements des transformateurs calculés d'après les courbes des pertes totales. — Observations faites par le wattmètre.

Désignation des transformateurs	Fraction de la puissance secondaire maxima												
	0	0,025	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	Rendements en pour cent												
Westinghouse, 6500 watts.....	0	61,8	75,9	85,7	91,9	94,0	95,1	96,0	96,3	96,6	96,8	96,9	96,9
Swinburne, 3000 watts.....	0	39,3	56,2	71,7	82,9	87,6	89,8	91,2	92,2	92,8	93,2	93,4	93,5
Thomson-Houston, 4500 watts.	0	49,1	65,4	78,8	87,8	91,1	92,9	93,8	94,2	94,6	95,0	95,0	94,7
Ferranti (type 1892), 20 chevaux	0	62,0	76,6	86,5	92,6	95,0	95,6	96,1	96,5	96,8	96,8	96,6	96,6
— — 15 —	0	65,5	79,0	88,1	93,4	95,0	95,7	96,0	96,2	96,3	96,1	95,8	95,5
— — 15 — (reconstruit).....	0	55,0	70,8	83,0	90,5	93,1	94,5	95,1	95,4	95,5	95,4	95,2	94,7
Mordey, 6000 watts.....	0	52,1	67,6	80,1	88,5	91,1	92,7	93,7	94,2	94,7	94,9	95,1	95,4
Kapp, 4000 watts.....	0	39,5	56,5	72,3	83,8	88,0	90,4	91,9	92,6	93,3	93,8	94,0	94,2
Ferranti (type 1885), 5 chevaux (reconstruit).....	0	28,8	44,5	61,4	75,6	81,9	85,5	87,7	89,0	89,8	90,2	90,5	90,8
Ferranti (type 1885), 5 chevaux	0	14,6	25,3	40,3	57,2	66,5	72,5	76,4	79,1	81,5	83,1	84,5	85,5

La courbe du rendement de tous ces transformateurs est fortement infléchie par suite des fortes valeurs aux faibles charges.

Transformateur Westinghouse, 6500 *watts. (Tableaux XIII et XIV, figures* 15, 16, 17 *et* 18. — Ce transformateur était un des deux essayés par M. J. Hopkinson par sa méthode différentielle. En se servant d'une méthode dépendant de la description graphique des courbes instantanées du courant et de la force électromotrice, M. Hopkinson [1] déduisit la puissance perdue à charge nulle, à quart de charge, demi-charge et pleine charge. D'où les rendements correspondants. Les mêmes nombres me furent communiqués par les constructeurs, d'après des essais faits à Pittsburgh. Je les reproduisis avec mes propres résultats. Les résultats de M. Hopkinson se trouvent dans la colonne H, ceux des constructeurs dans la colonne P, et les miens dans la colonne F; on voit que les divers essais ont donné des résultats suffisamment concordants :

Quantités mesurées	P	H	F
Watts perdus à charge nulle	91	114	98
Watts perdus à demi-charge	—	149	141
Watts perdus à pleine charge	—	236	209
Chute de potentiel secondaire à pleine charge.....	2 o/o	2,2 o/o	2,4 o/o
Rendement à demi-charge..	96,4 o/o	96 o/o	96 o/o
Rendement à pleine charge	97 o/o	96,9 o/o	96,9 o/o
Pertes $R I^2$ à pleine charge..	104	—	93

La perte à charge nulle est, d'après mes résultats, de 1,46 o/o de la puissance maxima. Le

[1] *La Lumière Electrique*, t. XLV, p. 125.

noyau de ce transformateur est construit en acier pur de très bonne qualité, les plaques sont légèrement oxydées pour les isoler.

Transformateur Mordey, 6000 *watts*.

Tableaux XXI et XXII, figure 31.

Deux transformateurs de cette capacité ont été essayés. Dans l'un, la méthode des trois voltmètres indiquait une perte à charge nulle de 125 watts; dans l'autre on trouva 148 watts par la méthode du wattmètre. Si nous prenons la moyenne de ces résultats nous obtenons 136 watts comme perte à circuit ouvert, ce qui représente 2,27 o/o des 6000 watts.

Nous avons trouvé que la chute de potentiel secondaire totale entre la charge nulle et la pleine charge est de 1,9 o/o du voltage à vide. Dans les publications de la compagnie Brush,

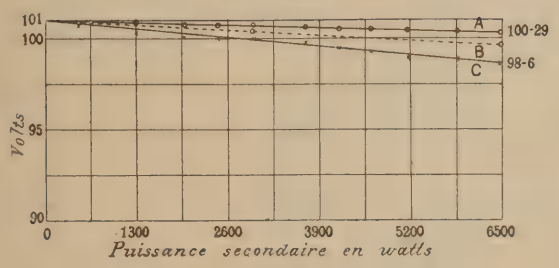


Fig. 18. — Transformateur Westinghouse de 6500 watts. A, chute de potentiel due à la résistance secondaire; C, chute de potentiel totale.

les chiffres des constructeurs sont : pour la perte à circuit ouvert de 1,82 o/o de la puissance maxima, et la chute de potentiel de 2,25 o/o; mais ces chiffres se rapportent à un transformateur de 6 kilowatts fonctionnant avec une fréquence de 100 périodes par seconde et transformant de 2000 à 100. Comme le transformateur essayé par nous avait un rapport de transformation de 24 à 1 et fonctionnait à 83 périodes par seconde, il est difficile de lui appliquer les chiffres des constructeurs; en tout cas, nos déterminations n'en diffèrent pas beaucoup en ce qui concerne la chute de potentiel secondaire.

D'après nos observations, ce transformateur est à ranger parmi les meilleurs au point de vue de la régulation et en considérant ses dimensions et sa perte à circuit ouvert. La perte maxima dans le cuivre est de 117 watts, et la perte maxima totale à pleine charge est de 311 watts. Le rendement maximum est près de 96 o/o, et le rendement au dixième de la charge maxima est de 80 o/o.

A. H.

(*A suivre*).

Influence de la fréquence dans le fonctionnement des transformateurs, par Ch. P. Steinmetz [1].

Pour étudier l'influence de la fréquence sur le fonctionnement des transformateurs à circuit magnétique fermé, j'ai entrepris récemment une série d'expériences dont les résultats, quoique applicables seulement dans leurs valeurs numériques au transformateur étudié, peuvent avoir une importance plus grande en ce qui concerne leurs valeurs relatives. Le transformateur essayé était du système Westinghouse, de 500 watts, à 138 périodes par seconde. Les observations ont été faites pour trois fréquences : 36,3, 137,5, et 204,5 périodes par seconde.

Les dérivations magnétiques dans le transformateur, c'est-à-dire les lignes de force qui traversent une des bobines sans passer par l'autre, présentaient dans cette étude aucun intérêt, puisqu'il suffit de rapprocher autant que possible les spires secondaires des spires primaires pour supprimer ces fuites magnétiques. D'autre part, la perte par hystérésis est indépendante de la charge du transformateur et ne dépend que de l'aimantation; enfin, comme les pertes $R I^2$ dans les enroulements primaire et secondaire peuvent être calculées au moyen des résistances, il suffisait, pour caractériser complètement le transformateur, de n'effectuer que des observations à circuit secondaire ouvert.

Pour les observations à haute fréquence, le courant était fourni par une dynamo Westinghouse qui, à 2000 tours par minute, donnait 50 volts. La force électromotrice était réglée à l'aide de l'excitation, et la machine était actionnée par un moteur Eickemeyer, dont la vitesse était réglée en faisant varier l'excitation. Le même moteur fut transformé, pour obtenir des courants de basse fréquence, en dynamo alternative bipolaire en reliant deux lames opposées du collecteur à deux anneaux à frotteurs.

Le transformateur était de l'ancien type Westinghouse, avec cuirasse de fer extérieure; ses dimensions étaient :

[1] *Elektrotechnische Zeitschrift*, 3 février 1893.

Bobine primaire : 900 tours, fil de 0,45 mm. de diamètre, résistance 52 ohms;

Bobine secondaire : deux bobines de 45 tours chacune, fil de 1,6 mm. de diamètre et 0,21 ohm de résistance pour chaque bobine;

Section moyenne du fer : 40 centimètres carrés;

Longueur moyenne du fer : 22 cm.;

Epaisseur des tôles : environ 0,3 mm.

Une des bobines à gros fil servait à l'excitation; l'autre bobine et celle à fil fin étaient à circuit ouvert.

La méthode employée était celle dite des trois

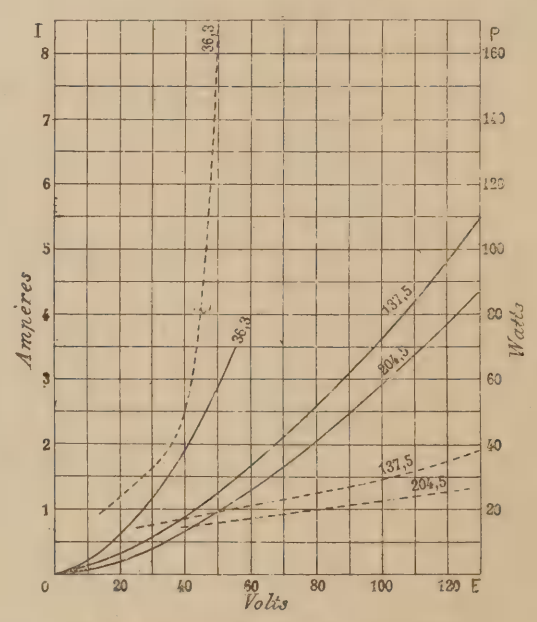


Fig. 1. — Pertes dans un transformateur.

électrodynamomètres. L'ampèremètre et la bobine fixe du wattmètre se trouvaient dans le circuit principal, le voltmètre et la bobine mobile du wattmètre (avec ses résistances additionnelles) en dérivation sur le transformateur *et les instruments*, c'est-à-dire en relation directe avec les bornes de la dynamo, de sorte qu'il fallait corriger les résultats pour tenir compte de la force électromotrice dépensée dans l'ampèremètre et la bobine fixe du wattmètre. Comme dans la plupart des cas le courant principal était peu intense, ce montage était préférable à la mise en relation directe du voltmètre avec les bornes du transformateur, le terme de correction étant beaucoup plus faible.

L'énergie totale dissipée fut diminuée de celle perdue dans les enroulements pour déterminer la perte dans le fer. Cette correction était peu importante excepté pour quelques observations à 36,3 périodes par seconde, dans lesquelles on atteignait de fortes saturations magnétiques, le courant étant très intense et la grande variation de la résistance du cuivre avec la température introduisant des erreurs notables, comme le montrent les résultats.

Ces résultats sont donnés sous forme de courbes dans la figure 1. Les abscisses indiquent

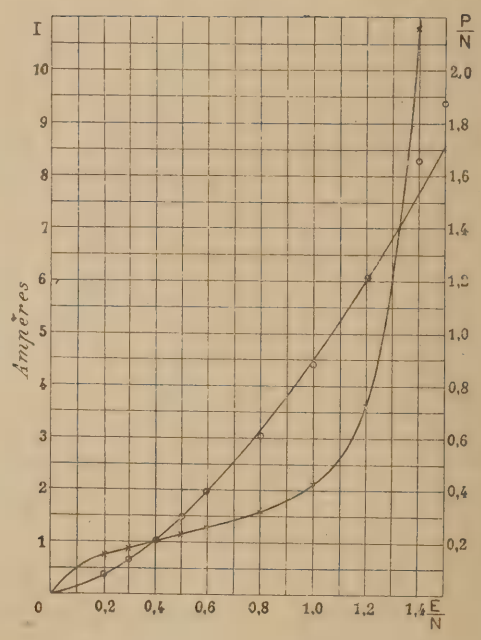


Fig. 2. — Pertes dans un transformateur.

le voltage efficace à la bobine excitatrice du transformateur, les ordonnées des courbes en trait plein donnent les pertes d'énergie dans le fer, en watts, et les courbes en pointillé les intensités de courant efficaces dans le circuit d'excitation. Si l'on s'était servi de l'enroulement en fil fin, les intensités eussent été vingt fois plus faibles et les voltages vingt fois plus élevés.

Ces différentes courbes correspondant aux fréquences indiquées sur la figure conduisent à plusieurs conclusions intéressantes.

Pour comparer tout d'abord les courbes des intensités, nous tenons compte de ce que, pour une aimantation donnée, la force électromotrice

E est proportionnelle à la fréquence N; donc, si nous prenons $\frac{E}{N}$ pour abscisses, les trois courbes d'intensités doivent coïncider si la caractéristique magnétique, c'est-à-dire la relation entre B et H, est indépendante de la fréquence, tandis que la non-coïncidence indiquerait soit l'existence de forces magnétomotrices secondaires — courants de Foucault, — soit l'existence de la viscosité.

Pour diverses valeurs de $\frac{E}{N}$ on a formé avec les forces électromotrices E, les intensités I et les pertes P prises sur les courbes de la figure 1, le tableau I.

Comme le montre ce tableau, les différentes

TABLEAU I

$\frac{E}{N}$	N = 204,5 périodes : sec.				N = 137,5 périodes : sec.				N = 36,3 périodes : sec.				Moyenne observée		Moyenne Calculée
	E	I	P	$\frac{P}{N}$	E	I	P	$\frac{P}{N}$	E	I	P	$\frac{P}{N}$	I	$\frac{P}{N}$	$\frac{P}{N}$
0,2	40,9	0,74	13,4	0,066	27,5	0,76	10,1	0,074					0,75	0,070	0,068
0,3	61,4	0,88	26,8	0,131	41,3	0,89	18,9	0,137					0,885	0,134	0,131
0,4	81,8	1,02	42,5	0,208	55,0	1,01	28,9	0,210	14,52	0,95	7,2	0,198	1,015	0,209	0,207
0,5	102,3	1,15	60,1	0,294	68,8	1,15	40,4	0,294	18,15	1,10	10,3	0,284	1,13	0,291	0,296
0,6	122,7	1,29	79,3	0,388	82,5	1,28	53,5	0,389	21,78	1,24	14,0	0,386	1,27	0,388	0,397
0,8					110,0	1,57	83,5	0,608	29,04	1,58	22,0	0,607	1,575	0,608	0,628
1,0					137,5	2,08	120,0	0,874	36,30	2,08	32,0	0,883	2,08	0,879	0,896
1,2									43,56	3,65	44	1,21	3,65	1,21	1,20
1,4									50,82	10,8	60	1,65	10,8	1,65	1,54
1,5									54,45	25	68	1,87	25	1,87	1,72

valeurs de I correspondant aux mêmes valeurs de $\frac{E}{N}$ sont identiques, aux erreurs d'observation près; on peut donc dire que *pour des fréquences comprises entre 36 et 205 périodes par seconde, la caractéristique magnétique est indépendante de la fréquence.*

Les valeurs des pertes d'énergie dans le fer sont données dans la colonne P. Si l'hystérésis est indépendante de la fréquence et s'il n'y a pas de courants de Foucault, P doit être proportionnel au nombre de périodes N, donc $\frac{P}{N}$ doit en être indépendant. La quatrième colonne du tableau donne ces valeurs de $\frac{P}{N}$ et l'on voit qu'elles sont à peu près indépendantes de la fréquence.

Aux fréquences inférieures à 200 périodes par seconde, on ne constata pas de viscosité magnétique, et la perte d'énergie par frottements moléculaires par cycle est indépendante de la vitesse.

Dans les dernières trois colonnes du tableau I, on trouve les valeurs moyennes observées de I et de $\frac{P}{N}$, et les valeurs de $\frac{P}{N}$ calculées au moyen du coefficient de l'hystérésis $\eta = 0{,}0029$. Ces différentes valeurs sont reproduites en fonction de $\frac{E}{N}$ dans les courbes de la figure 2.

La figure 1 montre que la perte par hystérésis et le courant d'excitation pour un voltage donné sont d'autant plus faibles que la fréquence est plus élevée. L'hystérésis croît avec la force électromotrice proportionnellement à la puissance 1,6 de la fréquence; le courant d'excitation croît d'abord beaucoup plus lentement que la force électromotrice, puis il monte brusquement jusqu'à des valeurs très élevées. Ainsi, pour une fréquence de 204,5, en doublant la force électromotrice de 50 à 100 volts, le courant d'excitation passe de 0,80 à 1,12 ampère, c'est-à-dire augmente de 40 o/o seulement, tandis qu'à la fréquence de 36,3 en faisant doubler le voltage de 27 à 54 volts, le courant d'excitation s'élève de 1,5 à 24 ampères, c'est-à-dire de 1500 o/o.

Le transformateur est construit pour 138 périodes par seconde, et pour 50 volts et 10 ampères dans le secondaire; dans ces conditions, il perd 25 watts dans le fer et 25 watts dans le cuivre. Son rendement est donc d'environ 90 o/o à la puissance de 500 watts, avec une induction maxima de 4600 lignes par centimètre carré.

A titre de comparaison, on a construit dans la figure 3 les courbes caractéristiques du transformateur, pour 840 volts de tension primaire et pour les fréquences 36,3; 137,5 et 204,5 périodes par seconde. Quoique la tension primaire normale eût été de 1050 volts, on ne pouvait faire la comparaison pour cette tension, parce que le courant d'excitation est à lui seul plus intense que serait le courant à pleine charge.

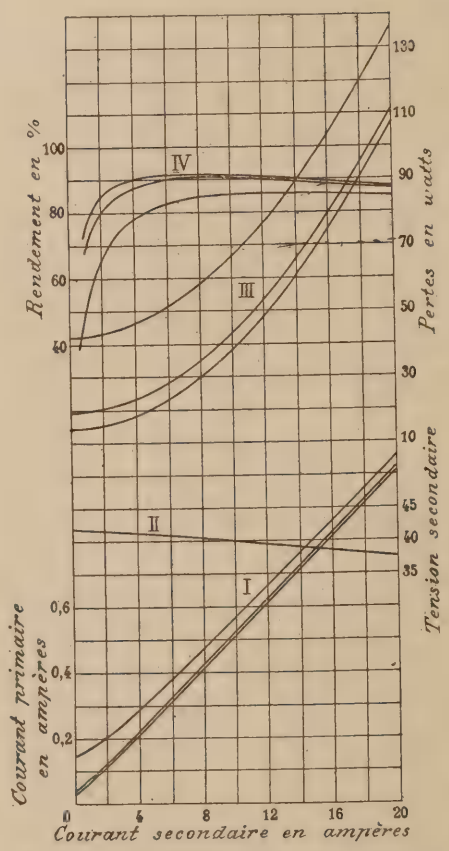


Fig. 3. — Courbes caractéristiques d'un transformateur.

Les abscisses sont dans la figure 3 les intensités du courant secondaire (les deux bobines secondaires étant couplées en parallèle, R = 0,105 ohm). Les courbes I donnent les courants primaires à 1050 volts de tension primaire et charge variable. On voit qu'à charge nulle le transformateur absorbe des courants primaires de 0,15; 0,048 et 0,037 ampère aux trois fréquences observées.

La courbe II donne le voltage secondaire qui est le même dans les trois cas.

Les courbes III donnent les pertes et les courbes IV les rendements du transformateur.

Comme la capacité d'un transformateur bien construit n'est limitée que par l'échauffement, c'est-à-dire la perte d'énergie, il suit qu'en admettant une perte maxima de 50 watts dans le transformateur, son débit maximum est aux fréquences 36,3; 137,5 et 204,5 respectivement de 5,6; 11,3 et 12,3 ampères de courant secondaire.

Les courbes des rendements sont particulièrement intéressantes. Celles-ci s'écartent d'autant plus aux faibles charges que la fréquence est plus basse. Pour 1 ampère dans le secondaire, le rendement est encore de 75 o/o à 204,5 périodes par seconde, tandis qu'à la fréquence de 36,3, il est déjà tombé à 48 o/o. Cette différence est encore plus marquée si l'on considère les valeurs relatives de la charge; ainsi, à 10 o/o de la charge maxima, à 204,5 périodes par seconde, soit pour 1,23 ampère secondaire, le rendement est de 79 o/o, tandis qu'il n'est que de 36 o/o à la fréquence de 36,3 périodes, où 10 o/o de la pleine charge correspondent à 0,56 ampère secondaire. Ces chiffres n'ont évidemment qu'une valeur relative, ils changent avec les dimensions du transformateur et dépendent aussi essentiellement de la fréquence pour laquelle l'appareil a été construit.

Dans le transformateur Ganz pour 1 000 watts et 10 ampères secondaires, par exemple, le rendement à la fréquence normale de 42, et au dixième de la pleine charge serait de 64 o/o, tandis qu'à 200 périodes et pour 1 ampère secondaire le rendement serait de 82 o/o.

Avant d'envisager ces divers faits au point de vue du calcul, il serait nécessaire de démontrer que les diverses suppositions que l'on fait ordinairement sont bien valables. Les points admis aujourd'hui comme résultats d'expériences sont :

1. La perte d'énergie par frottement moléculaire dans le fer sous forme d'hystérésis est indépendante de la charge et n'est déterminée que par l'aimantation et la fréquence;

2. La caractéristique magnétique, c'est-à-dire la relation entre l'aimantation et la force magnétomotrice, est constante ou indépendante de la fréquence;

3. La perte d'énergie dans le fer par cycle est indépendante de la vitesse du cycle ou de la fréquence; on ne constate pas d'hystérésis visqueuse au-dessous de 200 périodes par seconde;

4. La résistance ohmique et la perte dans le cuivre est, aux fréquences pratiquement employées, la même pour courant alternatif que pour courant continu; c'est-à-dire que la densité de courant est pratiquement uniforme dans toute la section du conducteur.

En nous servant de ces résultats expérimentaux nous pouvons maintenant étudier l'influence de la fréquence sur le fonctionnement d'un transformateur. Nous supposerons que la longueur et la section du fer et du cuivre soient constantes.

Adoptons les désignations suivantes :

B = induction maxima dans le fer, lignes de force par centimètre carré,

V = volume du fer en centimètres cubes,

S = section du fer en centimètres carrés,

c = densité de courant maxima dans le cuivre, ampères efficaces par centimètre carré.

v = volume du cuivre en centimètres cubes,

s = section du cuivre en centimètres carrés,

η = coefficient de l'hystérésis magnétique,

r = résistance spécifique du cuivre, ohms-centimètres,

P = puissance maxima du transformateur, en watts,

2 L = perte d'énergie maxima consentie dans le transformateur, en watts.

La puissance maxima P d'un transformateur est limitée exclusivement par l'échauffement, ou par la perte d'énergie 2 L.

La chute du voltage secondaire à charge croissante ne peut être considérée comme limitant la puissance et peut d'ailleurs être évitée en réglant le circuit primaire ou secondaire.

C'est la grandeur du courant d'excitation ou du courant primaire à charge nulle qui est importante à ce point de vue et qui ne doit dépasser un certain maximum. De plus, l'aimantation B du transformateur ne doit dépasser une certaine valeur, parce que la saturation du fer déformerait le courant.

Nous avons donc limité la puissance maxima d'un transformateur par les conditions :

$$\begin{aligned} &\text{Perte d'énergie dans le transformateur} = 2\,L \\ &\text{Induction magnétique : } B \leqq B_{max} \end{aligned} \qquad (1)$$

La perte d'énergie, en watts, est

$$2L = c^2 r v + \eta N V B^{1,6} \qquad (2)$$

La force électromotrice en volts efficaces est

$$E = \sqrt{2}\,\pi\, n\, N S B\, 10^{-8}, \qquad (3)$$

n étant le nombre de tours.

L'intensité efficace est

$$I = \frac{c s}{n}; \qquad (4)$$

donc la puissance en watts :

$$P = I E = \sqrt{2}\,\pi\, c s\, S N B\, 10^{-8}, \qquad (5)$$

et par suite le coefficient de perte :

$$\delta = \frac{2L}{P} = \frac{c^2 r v + \eta N V B^{1,6}}{\sqrt{2}\pi c s S N B\, 10^{-8}}; \qquad (6)$$

ce coefficient est minimum pour

$$\frac{d\delta}{dc} = 0, \qquad (7)$$

Cette équation (7) donne :

$$c^2 r v - \eta N V B^{1,6} = 0, \qquad (8)$$

c'est-à-dire : « *Le coefficient de perte d'un transformateur est minimum, et sa puissance* P *pour une perte intérieure donnée est maxima, quand la perte par échauffement dans le cuivre,* $c^2\, r\, v$, *est égale à la perte par frottement moléculaire dans le fer,* $\eta\, N\, V\, B^{1,6}$.

Cette condition s'exprime par

$$c^2 r v = \eta N V B^{1,6} = L. \qquad (9)$$

Donc, pour comparer les puissances maxima d'un transformateur à diverses fréquences, il faut que la densité de courant dans le cuivre c et le produit $N B^{1,6}$ soient constants :

$$\begin{aligned} c &= \sqrt{\frac{L}{r v}} = \text{constante}; \\ N B^{1,6} &= \frac{L}{\eta V} = \text{constante}. \end{aligned} \qquad (10)$$

Ce qui peut se traduire ainsi :

« L'aimantation d'un transformateur doit être, pour la puissance maxima, inversement proportionnelle à la puissance 5/8 de la fréquence ».

$$B = \left(\frac{L}{\eta V}\right)^{\frac{5}{8}} \times \frac{1}{N^{\frac{5}{8}}}. \qquad (11)$$

Cette loi n'est valable qu'entre certaines limites, puisque B ne doit pas dépasser un certain maximum et ne peut donc augmenter sans limites à mesure que N diminue.

Les équations (5), (10) et (11) nous donnent la

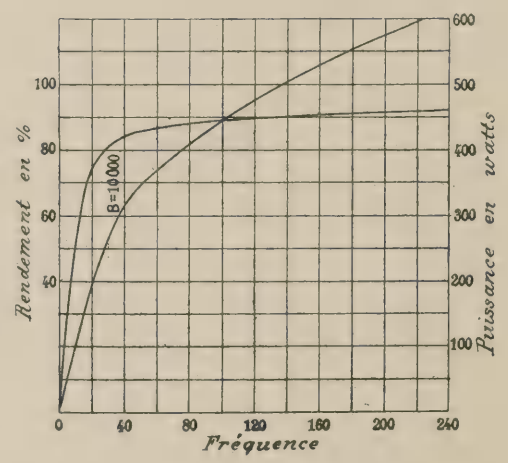


Fig. 4. — Rendement en fonction de la fréquence.

puissance maxima du transformateur en fonction de la fréquence :

$$P = \left(\frac{2L}{r\nu}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{L}{\eta V}\right)^{\frac{5}{8}} \pi s\, S N^{\frac{3}{8}} \qquad (12)$$

La puissance maxima d'un transformateur est donc proportionnelle à la puissance 3/8 *de la fréquence, tant que l'induction* B *n'a pas dépassé une certaine valeur limite.*

Comme on le voit, la capacité du transformateur ne varie que très lentement avec la fréquence. Le coefficient de perte étant inversement proportionnel à la puissance maxima, il s'ensuit que : *Le coefficient de perte d'un transformateur est à puissance maxima inversement proportionnel à la puissance* 3/8 *de la fréquence.*

Donc plus la fréquence est faible, plus il faut employer des aimantations élevées, afin de faire fonctionner le transformateur dans les conditions de rendement maximum, c'est-à-dire pour avoir la même perte dans le fer que dans le cuivre. Mais comme l'aimantation est limitée, nous arrivons en baissant la fréquence à un point où l'on ne peut plus augmenter l'aimantation. Au-dessus de cette fréquence la perte dans le fer ne peut donc plus être égale à celle dans le cuivre; nous pouvons, il est vrai, augmenter un peu la densité de courant, mais on ne peut plus atteindre le rendement maximum, et la puissance, de même que le rendement, diminuent rapidement.

Dans ce cas nous avons

$$B = \text{constante} = B_{max}. \qquad (13)$$

Par suite, d'après (2),

$$C = \sqrt{\frac{2L - \eta N V B^{1,6}_{max}}{r\nu}}. \qquad (14)$$

D'après (5),

$$P = \sqrt{2}\, \pi s\, S\, B_{max}\, 10^{-8} N \sqrt{\frac{2L - \eta N V B^{1,6}_{max}}{r\nu}}. \qquad (15)$$

Comme on le voit la capacité du transformateur s'approche, à mesure que la fréquence augmente, de la proportionnalité directe à la fréquence.

Dans la figure 4, on a tracé les courbes de la puissance maxima en watts, et du rendement en o/o, en fonction de la fréquence, pour le transformateur Westinghouse dont nous nous sommes occupés plus haut.

Comme perte d'énergie maxima on a admis 2 L = 50 watts, comme aimantation maxima B_{max} = 10000. On atteint celle-ci pour N = 60 périodes par seconde. Au-delà de N = 60, la puissance maxima est donc proportionnelle à la puissance 3/8 de la fréquence et s'accroît par conséquent de 30 o/o pour une variation de la fréquence du simple au double; tandis qu'en deçà de N = 60, la puissance maxima suit la loi exprimée par l'équation (14) et diminue de plus en plus rapidement.

A. H.

FAITS DIVERS

Dans une note à l'Académie, M. Novel indique une série de soudures pour l'aluminium qui peuvent se faire au fer à souder ordinaire, au chalumeau, et mieux encore avec un fer en nickel pur.

		Point de fusion
1. Étain pur sans alliage.....		250°
2. Étain pur.....	1000 gr.	de 280° à 300°
Plomb fin.....	50 gr.	
3. Etain pur.....	1000 gr.	de 280° à 320°
Zinc pur.....	50 gr.	

Ces trois soudures ne donnent aucune teinte à l'aluminium et le laissent intact.

		Point de fusion
4. Etain pur.....	1000 gr.	de 350° à 450°
Cuivre rouge.....	10 à 15 gr.	
5. Etain pur.....	1000 gr.	de 350° à 450°
Nickel pur.....	10 à 15 gr.	

Ces deux soudures donnent une très légère teinte jaune à l'aluminium, mais ont cet avantage de fondre à une température plus élevée, d'être plus dures et plus fortes.

6. Étain pur.....	900 gr.	Fond entre 350° et 450°
Cuivre rouge.	100 gr.	
Bismuth.....	2 à 3 gr.	

Cette dernière soudure a une teinte jaune or et peut servir à souder le bronze d'aluminium ; on peut modifier sa couleur en faisant varier la proportion de cuivre.

Les câbles électriques placés dans les égouts de New-York, en particulier ceux qui servent à l'éclairage avec des courants de haute tension, donnent jusqu'ici toute satisfaction. Après quatre années de service on ne peut constater aucun indice de détérioration des câbles sous plomb, l'élasticité du caoutchouc étant restée aussi parfaite qu'au sortir de la fabrique.

Pour éviter l'attaque du plomb par les sels ammoniacaux qui se trouvent quelquefois dans le sol, le métal est allié à environ 3 o/o d'étain, et de plus, on lui donne souvent une couche extérieure d'étain pur.

L'isolement des circuits à haute tension est mesuré toutes les semaines, On n'a pas jusqu'à présent constaté de cas de destruction par la foudre.

Edison a demandé le 1er novembre 1883 un brevet pour une méthode de production d'électricité; ce brevet vient de lui être délivré il y a quelques jours. Il se rapporte au procédé de production d'une force électromotrice par la combustion directe du charbon.

Dans un creuset en fer hermétiquement clos un crayon de charbon plonge dans un oxyde métallique. Le vase en fer forme un pôle, le charbon l'autre pôle de cette pile, que l'on met en activité en chauffant fortement le creuset. Les produits de la combustion sont aspirés par une petite pompe centrifuge.

Ce principe n'est pas nouveau; son application a été mise sur le tapis à diverses reprises; quant à sa valeur industrielle, elle ne paraît pas brillante.

Les travaux considérables qui sont en voie d'exécution au port de Bilbao nécessitent un matériel spécial. Pour transporter les énormes blocs de pierre et pour les mettre en place on a construit un titan, dont nous trouvons la description dans la *Nature*.

Cet appareil est formé essentiellement d'une grande poutre en acier à entretoises, de 32 mètres de long, montée sur roues et pouvant circuler sur des rails posés sur la plateforme déjà faite du corps du brise-lames; il peut s'avancer d'environ 20 mètres en porte-à-faux en dehors de cette portion déjà faite. Il est équilibré à l'aide d'un contrepoids. Ce qui fait l'originalité du système, c'est que la force motrice employée est l'électricité. Elle est fournie par une dynamo génératrice établie à terre et commandée par une machine à vapeur de 40 chevaux.

A la partie supérieure de la poutre roule une grue de 10 tonnes, à laquelle le mouvement de translation est donné par une dynamo, qui actionne en même temps tout l'appareil, que l'on doit remiser, en cas de mauvaise mer, derrière le mur d'abri déjà construit; cette même dynamo commande une pompe à eau et un plan incliné pour la montée des wagonnets. Enfin, une dynamo réceptrice commande une bétonnière cylindrique horizontale, roulant à l'étage inférieur du titan.

Cet appareil fonctionne avec succès depuis juillet 1892.

Une exposition universelle sera ouverte à Lyon, le 26 avril 1894, et close le 1er novembre suivant. La classe 34 sera consacrée à l'électricité et ses applications. La location du mètre carré varie de 6 à 50 francs selon l'emplacement.

Le concessionnaire général est M J. Claret.

MM Gouttes et Sibillot, de Limoges, auraient l'intention de construire un aérostat dirigeable en aluminium. Récemment nous avons déjà enregistré une tentative de ce genre; les projets ne manquent pas; à quand leur réalisation ?

Nature nous apprend qu'une députation des chambres de commerce d'Angleterre, des *Trades Unions* et de différentes sociétés s'est rendue près de sir William Har-

court, chancelier de l'Echiquier, pour demander au Gouvernement d'adopter le système métrique. Lord Kelvin faisait partie de cette députation au nom de la Société Royale, qu'il préside, et naturellement au nom de la science électrique, dont il est le représentant le plus éminent de l'autre côté du détroit.

Sir William a déclaré que le Gouvernement britannique ne pouvait intervenir, parce que le système métrique avait été imaginé par la Convention nationale au milieu d'une crise révolutionnaire et que les auteurs de cette réforme avaient eu la criminelle pensée de créer un nouveau calendrier remplaçant celui dont se servent toutes les nations européennes. Sir William a fait de plus remarquer que si le système métrique a été introduit en Allemagne, c'est à l'époque où s'est créé révolutionnairement l'empire d'Allemagne. Sir William pense donc que le système métrique n'a de chance d'être adopté en Angleterre que s'il y survient une révolution à l'instar de la Révolution française ?

Un démenti à cet oracle a été donné récemment par l'Association britannique pour le progrès des Sciences, qui a adopté les unités électriques internationales.

Les brevets d'invention deviennent tous les ans de plus en plus nombreux. L'Angleterre enregistre pour 1892 un total de 24166 brevets, supérieur de 1278 au total de l'année précédente.

Aux Etats-Unis on prend annuellement plus de 40 000 brevets.

On nous annonce la mort de M. Whiple, directeur de l'Observatoire de Kew qui fut longtemps le seul où l'on fît des observations sur le magnétisme terrestre. Les appareils de Kew ont des dimensions considérables, de manière que leurs indications ne concordent pas toujours avec celles des observatoires français où l'on emploie les magnétographes Mascart, qui sont, comme nous l'avons déjà fait remarquer, plus faciles à mettre en mouvement et d'un entretien bien moins dispendieux.

Les Ateliers d'électricité de Berlin viennent d'annoncer à leurs abonnés qu'ils abaissaient à 25 centimes le prix du kilowatt-heure pour l'énergie électrique utilisée dans les applications industrielles, force motrice, etc. Ainsi donc les industriels berlinois payeront le cheval-heure de 20 à 23 centimes, selon l'importance du moteur.

A Paris, le kilowatt-heure coûte quatre fois plus cher ; il serait intéressant d'étudier à quoi tiennent ces grandes différences de prix.

La municipalité de Bruxelles se propose d'acheter pour 500 000 francs d'accumulateurs. La société l'*Électrique* de Bruxelles a reçu une commande de 100 000 francs.

La plus grande partie du lot reste donc à adjuger. Avis aux intéressés.

La compagnie des tramways de Berlin entreprendra au mois d'avril prochain une série d'expériences sur la traction par accumulateurs.

L'introduction de ce mode de traction sur les lignes en exploitation dépendra du résultat de ces essais.

La société *The Johns Pratt Company* vient de faire breveter de nombreux dispositifs d'isolateurs électriques et thermiques en employant le mica comme matière isolante dans les conditions particulières suivantes : les feuilles de mica sont placées les unes sur les autres, puis comprimées fortement ensemble en enfermant dans l'intérieur les parties à isoler, de telle façon que la matière isolante soit disposée radialement par rapport à ces parties.

La société *Elmore's French Patent Copper Depositing Company Limited* a imaginé récemment un système de récipient pour l'électrolyse et les applications analogues.

Le dispositif consiste en une boîte en bois dans laquelle est placée une autre boîte également en bois ; entre les deux boîtes existe un espace étroit de 1 à 3 centimètres. Ces deux boîtes sont maintenues dans leur position relative sur des pièces de bois peu éloignées les unes des autres et ayant un faible contact avec les boîtes.

L'espace existant entre les deux boîtes est rempli avec une matière molle plastique, de préférence bitumineuse, coulée intérieurement pendant que la boîte intérieure est maintenue fortement en position.

Le mélange le plus convenable est un mélange de poix, de résine et de plâtre de Paris.

Dans quelques cas l'extérieur de la boîte interne et l'intérienr de la boîte externe sont garnis de toile à voile.

Le ministre des travaux publics vient de créer une chaire d'électricité industrielle à l'École nationale des mines

Nul doute que M. Potier, le savant professeur de l'École polytechnique, déjà titulaire de la chaire d'électricité, ne soit appelé à remplir cette nouvelle fonction, des plus enviées. Nous ne pourrons qu'applaudir à ce choix si mérité.

Le *Scientific American* signale la composition lubrifiante suivante pour les coussinets, les balais de collecteurs, les enveloppes de projectiles, etc. :

On mélange de la plombagine en excès à du bois ou à toute autre fibre végétale en additionnant d'eau. Le mélange plastique obtenu est ensuite comprimé de façon que l'eau chassée par la compression tende à placer les fibres végétales normalement à la surface frottante. Après ce moulage, le lubrifiant est séché et imprégné d'huile de lin que l'on fait ensuite durcir par la chaleur.

M. Ellis, directeur de l'observatoire de Greenwich, se prononce contre la liaison que quelques savants ont essayé d'établir entre les orages qui se manifestent à la surface ou dans l'intérieur de la terre et les orages que la présence de taches constatent à la surface du soleil. A ce propos, M. Zenger nous écrit que la période solaire du 26 janvier est une de celles qui semblent le mieux mettre en évidence la théorie contre laquelle s'élève M. Ellis.

L'activité solaire était énorme et l'on constatait cinq groupes de taches visibles à la fois. La plus grande tache a passé au méridien central le 25 et la seconde le 31.

Pendant ces deux jours l'agitation a été incessante, dans l'air, à la surface des océans et dans les profondeurs du globe. La série des tremblements a commencé par des explosions de grisou, qui au nombre de quatre ont désolé les mines de houille d'Autriche.

Le 28 janvier on a ressenti des secousses à Salzbourg, en Corinthe et au Tyrol. Puis à Naples, dans l'Apennin et dans la province de Bari. Enfin à Céphalonie et à Zante, où des catastrophes épouvantables conserveront longtemps le souvenir de la nuit du 30 au 31 janvier. Le même jour le Strombold se mettait en éruption, et l'on constatait à Venise un reflux mou de l'Adriatique. L'eau avait tellement baissé dans les lagunes, que la navigation était devenue impossible, même pour les gondoles.

Dès le 25 janvier les inondations commençaient en Bohême, elles ont été terribles, et les désastres de 1891 se sont renouvelés sur toute la ligne. Il serait trop long d'énumérer les tempêtes qui se sont déchaînées. Nous signalerons cependant celle qui a éclaté le 30 janvier aux îles Lofoden (Norvège), où 41 marins ont été noyés.

Le rapport récemment publié de la station municipale d'électricité de Hanovre montre que les grandes dynamos à vapeur de 500 chevaux qui y fonctionnent présentent un excellent rendement. La maison Schuckert avait garanti un rendement total de la machine à vapeur de 85 o/o, et pour la dynamo de 90 o/o, soit en tout pour la combinaison un rendement de 76,5 o/o. Le rendement effectif a été de 81,8 o/o, chiffre très élevé, donnant 88 o/o pour la machine à vapeur et 93 o/o pour la dynamo.

Ces résultats sont d'ailleurs conformes à ceux obtenus avec les machines installées par la même maison à Dusseldorf. Celles-ci donnaient 92,7 o/o à pleine charge et 91,6 o/o aux deux tiers de la charge maxima.

Les mêmes ont été faites à Hanovre par le professeur Kohlrausch, à Dusseldorf par le professeur Kittler.

Le directeur d'un grand établissement de photogravure de New-York, parlant des applications variées de l'électricité dans son industrie, dit qu'il ne s'en sert pas seulement pour l'éclairage de toutes les pièces du bâtiment, mais aussi pour actionner des presses d'imprimerie, des scies, des brunissoirs, des pompes, des broyeurs, des ventilateurs, etc. La reproduction des clichés par la galvanoplastie est aujourd'hui courante. Outre les meilleurs résultats pratiques les nouvelles méthodes offrent aussi de grandes économies sur les anciens procédés.

Eclairage électrique.

Les conseils municipaux de Trévise et d'Arezzo ont décidé de substituer l'électricité au pétrole pour l'éclairage de ces villes.

La transition est brusque et sera d'autant mieux accueillie.

Voici ce que Paris a consommé de gaz d'éclairage dans ces dernières années :

	Mètres cubes.
En 1886	251 446 105
1887	255 865 786
1888	261 956 717
1890	275 686 080
1891	268 441 472

L'année 1889, omise dans ce tableau, avait donné lieu une dépense anormale à cause de l'Exposition universelle. Quant à l'année 1892, la consommation de ses dix premiers mois, combinés avec les deux derniers mois de 1891, fait prévoir à peu près le même chiffre que pour 1891.

Donc malgré les besoins croissants d'éclairage la consommation de gaz baisse; c'est un signe des temps.

Ostende sera éclairé par l'électricité cette année. M. Morris, qui avait pour collaborateur M. Van Rysselberghe, a repris l'usine à gaz et réduit le prix du gaz. Il élabore actuellement un projet pour l'éclairage électrique. Le prix du kilowatt-heure sera tarifé 1 franc, avec une réduction de 25 o/o pour le courant consommé par la municipalité.

MM. Morris et Van Rysselberghe avaient consenti à payer à la ville une somme annuelle de 10 000 francs pendant les dix premières années, après quoi la taxe annuelle devait être réduite à 1900 francs. La concession est pour une période de trente-cinq années, mais la municipalité a le

droit de prendre l'exploitation de la station centrale au bout de dix ans, sous certaines conditions.

M. Dossmann nous écrit d'Athènes :

La station centrale d'électricité d'Athènes fait des progrès continus. Créée il y a quatre ans, elle alimente aujourd'hui 93 lampes à arc et 7200 lampes à incandescence de 16 bougies pour une population de 100 000 habitants. La consommation se répartit entre deux palais royaux, le Parlement, trois ministères, l'Université, la mairie, la cour des comptes, la préfecture, deux tribunaux, l'Hôtel de Ville, soixante-quatre maisons privées et environ deux cents maison de commerce.

La station, dirigée par M. Etienne de Fodor, ne se trouve pas atteinte par la concurrence que lui fait la société du gaz. La lumière Auer, qui commence à se répandre au détriment de la lumière électrique, n'a pas gagné beaucoup de terrain à Athènes.

C'est surtout dans les maisons privées que l'emploi de l'électricité tend à se généraliser; pendant l'année passée 32 maisons représentant environ 1000 lampes de 16 bougies sont devenues clientes de l'usine électrique.

La station sera agrandie ce printemps; aux moteurs déjà existants on en ajoutera deux nouveaux de 150 chevaux chacun.

Le théâtre Carlo Felice, de Gênes, ne sera pas un des derniers à adopter l'éclairage électrique. La municipalité vient en effet d'approuver le projet de la Société Edison de Milan, et depuis novembre 1892 le nouvel éclairage fonctionne régulièrement.

La ville d'Ancône vient d'être éclairée à l'électricité L'installation provisoire comprend deux dynamos à courants alternatifs, système Zipernowski, d'une puissance chacune de 50 kilowatts et fonctionnant à 2000 volts. Chacune est commandée par un moteur séparé.

L'installation complète devra comprendre quatre dynamos commandées chacune par un moteur séparé, et marchant en parallèle.

L'éclairage public comprend actuellement 20 lampes à arc de 16 ampères montées en dérivation. La tension est abaissée à l'aide de quatre transformateurs de 5000 watts chacun.

Télégraphie et Téléphonie.

Le rachat par l'Etat des réseaux téléphoniques de la plupart des grandes villes autrichiennes a été adopté par la Commission du budget. D'après le *Journal télégraphique*, le rapporteur de cette commission, M. Russ, invite le gouvernement à examiner l'opportunité d'une réforme des taxes du réseau téléphonique de l'Etat; la taxe téléphonique de l'Autriche correspond bien à la moyenne des tarifs des autres pays, mais les relevés statistiques ont fait ressortir, notamment en Suisse, que la taxation uniforme de tous les abonnés n'est pas équitable, attendu que tel abonné échange de cinq à onze fois plus de conversations que tel autre, et cela sans payer plus cher. On a adopté, il y a quelque temps, en Suisse, un projet de réforme du tarif téléphonique dans le sens indiqué ci-dessus. Le tarif suisse établit une taxe fixe par 800 conversations, avec une augmentation de 5 francs pour chaque centaine ou fraction de centaine additionnelle, soit de 5 centimes pour toute conversation additionnelle M. Russ prie le gouvernement d'adopter le même système pour le service téléphonique de l'Autriche.

Le gouvernement français se propose de créer un réseau télégraphique dans nos nouvelles possessions d'Afrique. On construit en ce moment une ligne télégraphique de Kotonou aux Popos en passant par Wydah. Un certain nombre de soldats télégraphistes du génie ont été envoyés dans ce pays.

Le vapeur *Silvertown* s'est rendu à la côte occidentale de l'Amérique du Sud. Il a à bord 2622 milles marins de câble sous-marin pour la Central and South-American Telegraph Company, qu'il posera entre Chorillos (Pérou), Santa Elena (Équateur), San Juan del Sur (Nicaragua) et Santa Cruz (Mexique).

La direction de l'entreprise a été confiée à M. Matthew Gray.

Le rétablissement sur les télégrammes de la date et de l'heure de dépôt au bureau expéditeur est un fait accompli. Des instructions à ce sujet ont été envoyées jeudi dans tous les bureaux de France. Les télégrammes porteront donc de nouveau — comme nous l'avions réclamé — ces indications qui, en bien des cas, sont toute la valeur d'une dépêche.

La Compagnie française des télégraphes sous-marins installe à Haïti les lignes télégraphiques devant relier le siège du gouvernement aux villes et communes importantes de la république.

Depuis quelque temps un service téléphonique fonctionne dans la capitale haïtienne et aux Gonaïves; les compagnies exploitantes sont largement subventionnées par le gouvernement, qui désire ardemment voir quelques progrès se réaliser dans le pays.

L'abonnement au téléphone est de 5 dollars par mois.

Imprimeur-Gérant : V. Nory.

Imprimerie de la Lumière Électrique. — Paris, 31, boulevard des Italiens.

La Lumière Électrique

Journal universel d'Électricité

31, Boulevard des Italiens, Paris

DIRECTEUR : Dr CORNÉLIUS HERZ

XVe ANNÉE (TOME XLVII) SAMEDI 4 MARS 1893 N° 9

SOMMAIRE. — Le réseau d'avertisseurs électriques d'incendie de la ville de Paris; G. Pellissier. — Détails de construction des machines dynamo; Gustave Richard. — Moteur Bary; F. Guilbert. — Chronique et revue de la presse industrielle : Fabrication électrolytique du chlore et de la soude, par MM. Cross et Bevan. — Pile Maquay. — Appareils téléphoniques Mix et Genest. — Expériences de traction électrique. — Un nouveau galvanomètre balistique. — Contribution au calcul des moteurs à courants alternatifs, par M. E. Arnold. — Revue des travaux récents en électricité : Recherches expérimentales sur les transformateurs à courants alternatifs, par M. J.-A. Fleming. — Congrès des électriciens à Chicago en 1893. — Nécrologie : J.-E.-H. Gordon. — Variétés : Le caoutchouc du Haut-Orénoque. — Faits divers.

LE RÉSEAU D'AVERTISSEURS ÉLECTRIQUES D'INCENDIE DE LA VILLE DE PARIS

Dès les premiers temps de l'invention du téléphone, on prévit son application au service d'avertissement des incendies; il permettait de mettre en relation un point quelconque de la ville avec les postes de secours, et par la grande simplicité de sa manœuvre il pouvait être mis à la disposition de chacun. Des ingénieurs compétents craignaient cependant que cette application ne fût pas pratique, que le téléphone ne se dérangeât trop aisément et, si simple que fût la manœuvre, il semblait qu'on s'exposerait à bien des mécomptes en la confiant à des personnes inexpérimentées et troublées par la peur.

Pour qu'un avertisseur d'incendie puisse répondre complètement au service qu'on lui demande, il doit, en effet :

1° Appeler l'attention du poste de secours, par une sonnerie, par exemple;

2° Faire connaître à l'intéressé que ses indications ont été comprises;

3° Ne nécessiter que des manœuvres simples et faciles à exécuter sans apprentissage préalable.

Le problème qui se posait était donc de rendre absolument automatiques les opérations nécessaires, tout en conservant à l'appareil les conditions *sine qua non* de robustesse et de sécurité.

Les préjugés contre l'emploi du téléphone étaient tels que M. Petit, contrôleur de l'Administration des Postes et Télégraphes, chargé de la construction et de l'entretien du réseau municipal d'incendie depuis sa création, n'hésita pas à le rejeter de l'appareil qu'il réalisa pour répondre aux exigences du service.

Son avertisseur a été décrit dans le journal lors de son apparition [1]. Il nous suffira de rappeler que l'avertisseur proprement dit se composait d'une sonnerie électrique et d'un mouvement d'horlogerie que l'appelant mettait en marche en appuyant sur un bouton placé à l'extérieur de la boîte qui les contenait; le mouvement d'horlogerie transmettait automatiquement au poste de secours, pourvu d'un récepteur à cadran, le numéro d'ordre du poste d'appel; le pompier de garde interrompait alors le courant; la sonnerie s'arrêtait, avertissant ainsi l'intéressé que son appel avait été compris. Les pompiers venaient de la caserne vers l'avertisseur dont le numéro d'ordre leur avait

[1] *La Lumière Electrique*, t. XXX, p. 535, 1888.

été indiqué par l'aiguille du cadran récepteur.

Une somme considérable fut votée par le Conseil municipal en 1888, et près de 500 appareils de ce modèle furent construits.

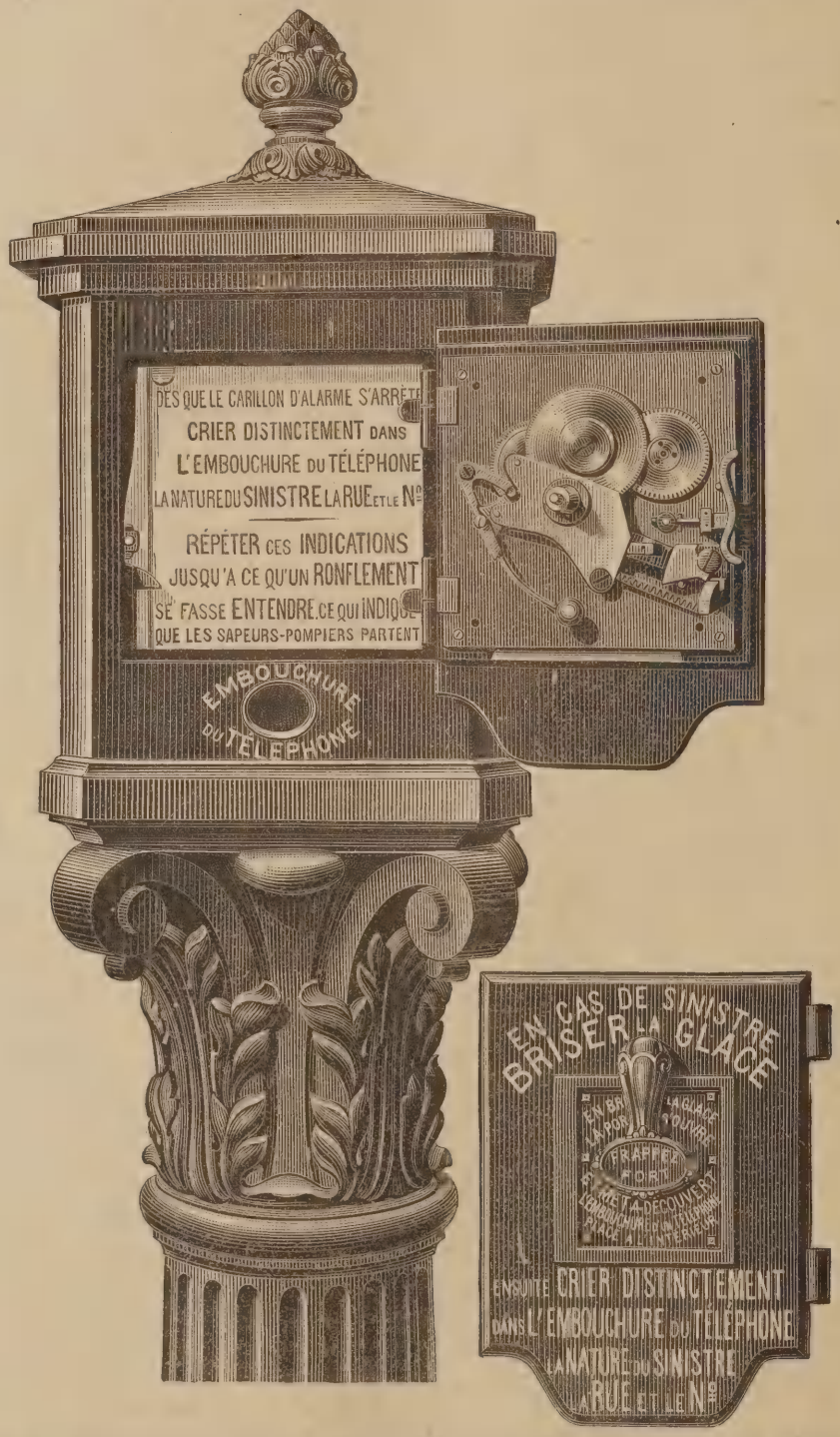


Fig. 1. — Avertisseur électrique L. Digeon. Aspect extérieur et mécanisme du carillon.

Dès cette époque, cependant, on examina un système avertisseur imaginé par M. L. Digeon, système dans lequel les indications trop sommaires et parfois inexactes de l'appareil précé-

dent étaient remplacées par des signaux Morse imprimés sur une bande de papier, complétés eux-mêmes par des renseignements téléphonés. On reconnut immédiatement l'évidente supé-

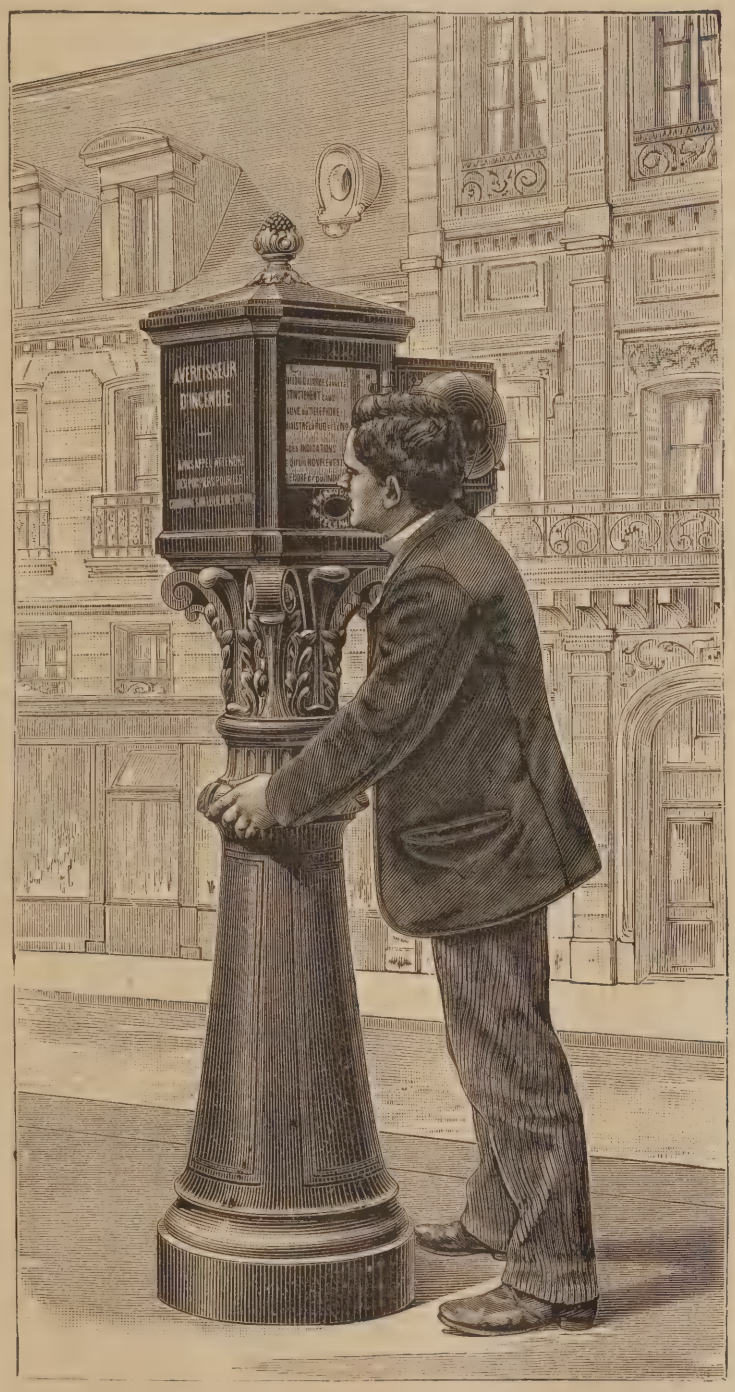


Fig. 2. — Avertisseur L. Digeon. Transmission téléphonique des ordres.

riorité de cet appareil, et des essais comparatifs purent avoir lieu en 1890, sous la direction de MM. Lozé, préfet de police, le colonel Ruyssen, le commandant Krebs, le capitaine

ingénieur Cordier. Sans entrer dans le détail des difficultés de tout ordre qu'on eut à surmonter, il nous suffira de dire que ce fut au mois d'avril dernier seulement que le comité de perfectionnement du régiment des sapeurs-pompiers de la ville de Paris adopta à l'unanimité l'avertisseur téléphonique de M. Digeon.

Nous décrirons succinctement les traits caractéristiques de ce système en donnant quelques détails sur l'organisation du service.

Les figures 1 et 2 représentent l'aspect extérieur des bornes monumentales installées sur la voie publique.

L'avertisseur et le téléphone sont renfermés dans la boîte supérieure située à hauteur d'homme; ils communiquent, par des fils courant à l'intérieur de la borne, avec deux câbles qui viennent du poste central et sont placés dans les égouts.

Pour se servir de l'avertisseur, il suffit, comme l'indiquent clairement les instructions inscrites à l'extérieur de la boîte, de briser la glace située au milieu de la porte en frappant fortement. La porte s'ouvre alors d'elle-même et met à découvert l'embouchure du téléphone. Un fort carillon d'alarme se met en branle; pendant ce temps, l'appareil transmet automatiquement à la caserne des signaux Morse qui lui font connaître quel est l'appareil actionné. Au bout de dix à quinze secondes, le carillon d'alarme cesse, et il suffit alors de crier distinctement dans l'embouchure du téléphone la nature du sinistre, le nom de la rue, le numéro de la maison; par exemple : feu de cheminée, de comble, de cave, d'atelier, de produits chimiques, ou éboulement, inondations, etc., rue ....., n° ..... On répète ces indications à intervalles réguliers jusqu'à ce qu'un *ronflement* se fasse entendre. On est sûr alors que les pompiers sont en route pour combattre le sinistre. Toutes ces instructions sont clairement formulées à l'extérieur de la boîte, et à l'intérieur, sur plaque en tôle émaillée qu'on a constamment sous les yeux en parlant par le téléphone (fig. 1 et 2).

Voici comment s'effectuent ces différentes opérations.

Lorsqu'on frappe pour briser la glace, on dégage le pêne retenant la porte que trois ressorts, représentés sur la figure 1 auprès des charnières et vers le haut à gauche, font ouvrir spontanément. En même temps, un jeu de leviers déclenche le mécanisme du carillon d'alarme placé derrière la porte et celui du rouage qui transmet l'*indicatif* du poste appelant.

Le carillon d'alarme est celui de l'appareil Petit transformé et simplifié par M. Digeon; il a été décrit à la page 569 de notre numéro du 22 décembre 1888; nous n'y reviendrons pas; son nouvel agencement se voit d'ailleurs sur la figure 1.

Le transmetteur automatique a dû être combiné pour utiliser autant que possible les organes existant dans l'appareil Petit. Il a été réduit à la plus grande simplicité. Il se compose essentiellement d'une roue à cames R, et d'un levier manipuleur (fig. 4); un poids moteur dont la corde est enroulée directement sur l'axe x de roue R, tend à la faire tourner en sens contraire

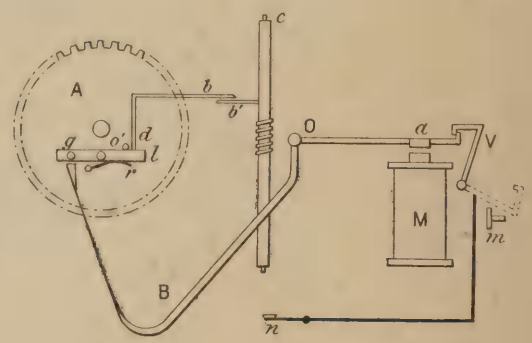


Fig. 3. — Détail du Morse à enclenchement et à déclenchement automatiques.

des aiguilles d'une montre. Lorsque le poids est relevé et l'appareil au repos, un ergot solidaire d'une roue montée sur l'axe x est engagé sous un levier qui se dérobe dès que la glace est brisée; la roue à cames entre alors en mouvement et transmet à la caserne, par le levier l, l'indicatif du poste d'appel. La hauteur de chute est telle que la roue R fait un tour complet seulement.

Les signes de l'indicatif sont répétés trois fois sur le pourtour de cette roue, afin d'éviter toute erreur provenant d'une mauvaise transmission accidentelle.

Pour régulariser la rotation sans recourir à un moulinet qui demandait un nombre de rouages assez grand, M. Digeon a adopté un dispositif très simple qui présente plusieurs avantages : il a fixé sur une des roues portées par l'axe de la roue R un contrepoids convena-

blement excentré. A l'état de repos, ce contrepoids a dépassé un peu la verticale dans le sens du mouvement; au départ, son action s'ajoute donc à celle du poids moteur pour vaincre les frottements et mettre le mécanisme en marche; lorsqu'il a franchi son point mort, la force vive du poids moteur est employée à le remonter dans sa position première, d'où ralentissement d'une part, et d'autre part appoint de force pour assurer la commutation du levier I et le contact de la lame du téléphone. On obtient ainsi une régularité de mouvement complètement satisfaisante. Les cames sont disposées sur le pourtour de la roue R pour profiter de cette allure.

Tous les postes avertisseurs sont montés en dérivation sur la même ligne L à double fil, ainsi que le représente la figure 4.

La pile de ligne est placée en P au poste central; son pôle négatif est mis à la terre. Le pôle positif aboutit à travers l'électro M du Morse sur le milieu d'une bobine de résistance D dont les deux extrémités sont reliées aux deux fils de ligne ou sur le milieu du circuit des téléphones. Cette dernière disposition permet d'entretenir le magnétisme des aimants des téléphones par le jeu même de l'appareil.

A chaque poste avertisseur, la vis de butée B est en contact avec un des fils de ligne L; la vis *b* est isolée.

Le levier *l* qui, à l'état de repos, s'appuie sur

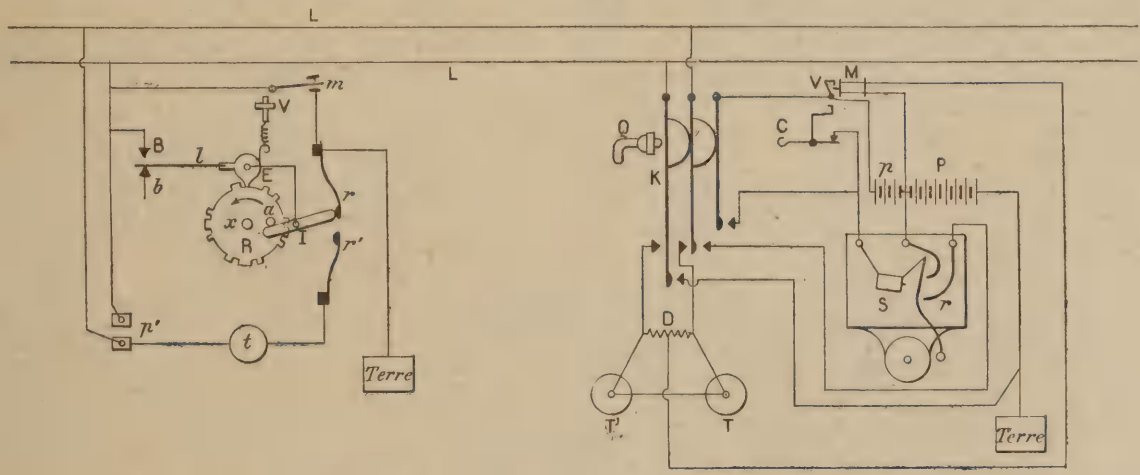


Fig. 4. — Diagramme des communications électriques des postes avertisseurs.

cette vis *b*, est en communication par le bras I et le ressort *r* avec la terre. Lorsque la roue R se met en mouvement, les cames, en soulevant l'ergot E, amènent la lame *l* en contact avec B. Le circuit se trouve ainsi complété par la terre, et le Morse inscrit un point ou un trait suivant la dimension de la came qui soulève le manipulateur *l*.

Le mouvement continuant, lorsque la dernière came a actionné le levier *l*, la goupille *a* vient prendre au passage le bras I et le fait basculer au contact du ressort *r'*. Le retour par la terre est supprimé, le téléphone *t* de l'avertisseur se trouve mis en circuit et les ordres peuvent être donnés.

Voici maintenant les dispositions adoptées au poste central.

Lorsque l'électro M est actionné, son armature lâche le volet V (fig. 3) qui vient fermer en *m* le circuit C S de la sonnerie actionnée par une pile locale P; un levier *n* permet de remettre le volet V en place après chaque manœuvre.

En même temps que la sonnerie se fait entendre, le Morse déroule et inscrit les signaux indicatifs du poste d'appel.

Le mécanisme de déclenchement automatique du Morse est remarquablement simple (fig. 3).

L'armature *a* bascule autour de l'axe O qui porte un levier coudé B, muni d'un patin à son extrémité. Sur un des derniers rouages du mouvement dérouleur est placé un levier *l*, mobile autour d'un axe *o*; il porte une goupille *g* et un bras *b*. Celui-ci vient buter contre un autre bras *b'* solidaire du régulateur. A l'état de repos, un ressort *r* maintient le levier *l* contre une butée

d; mais, lorsque B est soulevé par l'armature *a*, le patin vient agir sur la goupille *g* et fait basculer le bras *b*. Le mécanisme se met alors à tourner jusqu'à ce que, au bout d'un tour complet de la roue A, les deux bras viennent à se rencontrer de nouveau.

Un jeu de roues d'angle permet l'enroulement automatique de la bande sur le rouet emmagasineur.

L'homme de garde au poste central, averti par la sonnerie, lit sur la bande l'indicatif de l'avertisseur appelant, puis il décroche son téléphone en C; le crochet bascule et interrompt la sonnerie. Il écoute alors les indications qui lui sont données; lorsqu'il les a bien comprises, il abaisse le levier O (fig. 3) qui ferme, par les lames K et les butées de droite, le circuit local de la sonnerie et introduit sur la ligne le courant

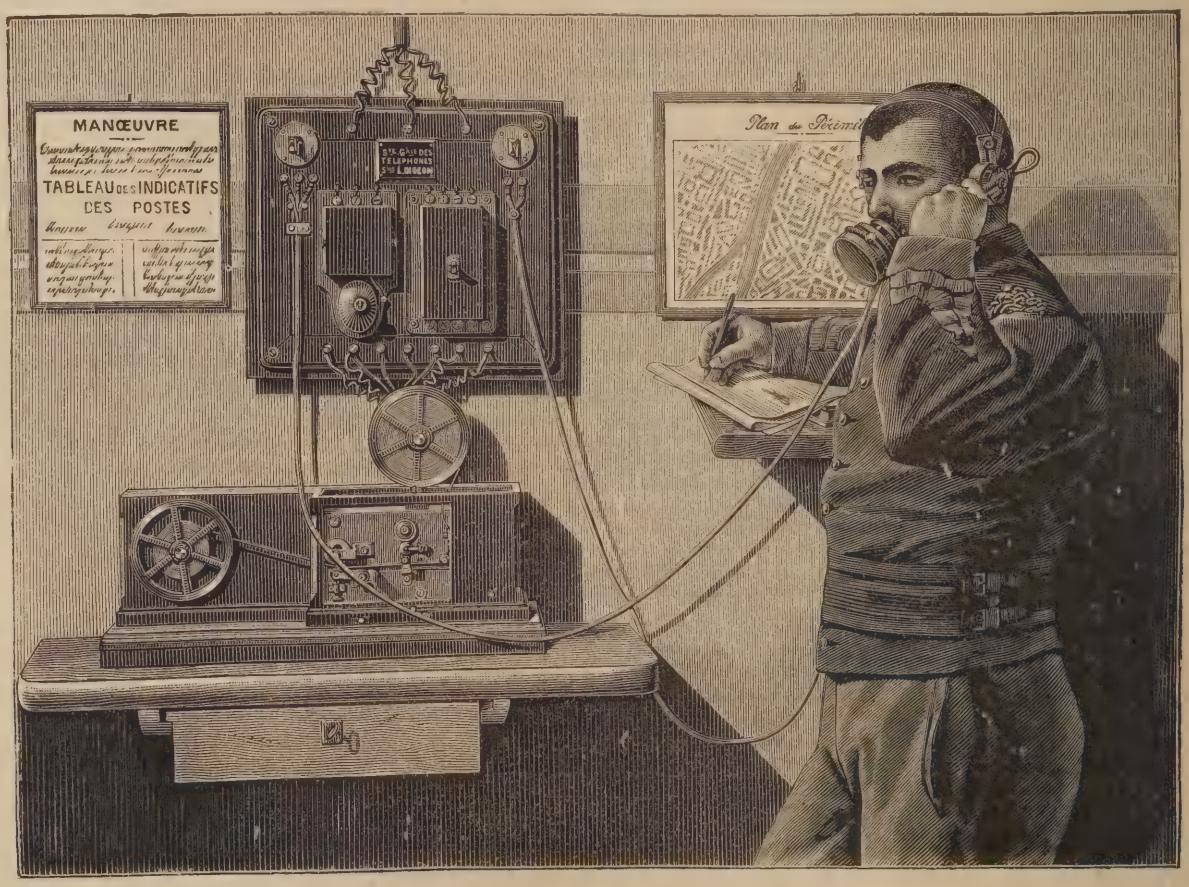


Fig. 5. — Avertisseur L. Digeon. Installation d'un poste-caserne.

de la pile P. La sonnerie porte, outre le trembleur ordinaire, un second interrupteur identique, intercalé dans le circuit de la ligne. Le téléphone du poste avertisseur reçoit donc une succession de courants interrompus qui lui font rendre cette sorte de ronflement très intense dont nous parlions plus haut.

En résumé, la manœuvre se borne simplement :

1° Pour le public, à briser la glace et à parler dans l'embouchure de téléphone;

2° Pour le sapeur-pompier de garde, à écouter au téléphone, à abaisser la clé de sonnerie et à relever le volet V en appuyant sur une manette.

Après chaque appel, un homme est détaché vers l'avertisseur actionné pour remplacer la glace et remonter le mécanisme.

Nous représentons par la figure 5 l'aspect général d'un poste central. On y retrouve les différents organes que nous venons de décrire : la clé de sonnerie se trouve sur la droite du tableau, et le crochet interrupteur, pour la sus-

Quartier Central d'incendie.
Caserne.
Caserne projetée.
Poste central.
Poste central projeté.
Poste de Ville existant.
Avertisseur qui sera posé avant la fin de l'année 1893
Avertisseur projeté.
Limite de périmètre.
CLICHY
LEVALLOIS-PERRET
PANTIN
LE PRÉ ST GERVAIS
BOIS DE BOULOGNE
BOIS DE VINCENNES
ISSY
VANVES
MALAKOFF
MONTROUGE
IVRY
SEINE
Cimetière Montmartre
Sacré-Cœur
Gare du Nord
Gares de l'Est
Parc des Buttes Chaumont
Parc de Monceau
Gare de l'Ouest R.D.
Opéra
Bourse
Palais de l'Industrie
Trocadéro
Jardin des Tuileries
Louvre
Hôtel de Ville
Palais de Justice
Notre Dame
Pantheon
Jardin du Luxembourg
Halle aux Vins
Jardin des Plantes
Gare d'Orléans
Gare de Lyon
Gare de Vincennes
Place de la Bastille
Place de la Nation
Place de la République
Cimetière du Père-Lachaise
Cimetière Montparnasse
Observatoire
Gare de Sceaux
Place d'Italie
Place Jeanne d'Arc
Parc de Montsouris
Hôtel des Invalides
Palais du Trocadéro
Pl. de l'Etoile
Av. du Bois de Boulogne
Av. de Versailles
Av. de Vincennes
Av. de St Mandé
Av. de Bercy
Av. de Reuilly
Av. de Daumesnil
Av. de Montsouris
Av. de l'Italie
Av. de Choisy
Av. de Fontainebleau
Av. de Malakoff
Av. de Vaugirard
Av. de Grenelle
Av. de Suffren
Av. de Tourville
Av. de Breteuil
Av. de Lowendal
Av. de Saxe
Av. de Ségur
Av. de Lamotte-Picquet
Av. de Villiers
Av. de Wagram
Av. de Clichy
Av. de St Ouen
Av. de Neuilly
Av. de la Grande Armée
Av. de Malesherbes
Av. de Messine
Av. de Hoche
Av. de Friedland
Av. de Marigny
Av. de Ternes

pension du téléphone, est en haut, à droite. Le sapeur-pompier a sous les yeux, en écoutant au téléphone un tableau expliquant la manœuvre des appareils, les indicatifs des postes et le plan du périmètre. Nous reproduisons un de ces tableaux à titre de document ; on voit que la manœuvre peut être confiée à des mains inexpérimentées quelconques.

MANŒUVRE

Dès que la sonnerie fonctionne : décrocher les téléphones, lire la lettre sur la bande et écouter ; quand les indications téléphoniques sont bien comprises, abaisser complètement le levier et le relever cinq ou six secondes après ; ensuite, appuyer sur la manette en suspendant les téléphones.

TABLEAU DES INDICATIFS ET DES EMPLACEMENTS DES POSTES

Lettres commençant par un point.		**Lettres commençant par un trait.**	
▪ —	**A** Rue du Château-des-Rentiers, près la rue Ricant.	— ▪	**N** Boulevard Masséna, à côté de la porte de Choisy.
▪ — ▪	**R** Avenue d'Italie, près la rue Vandrezanne.	— ▪ ▪	**D** Rue de la Butte-aux-Cailles, angle de la rue de l'Espérance.
▪ — ▪ ▪	**L** Rue Croulebarbe, près la ruelle des Reculettes.	— ▪ ▪ ▪	**B** Rue de Patay, près de la rue du Dessous-des-Berges.
▪ — —	**W** Rue Esquirol, angle du boulevard de l'Hôpital.	— ▪ —	**K** Rue du Moulin-des-Prés, angle de la rue de la Butte-aux-Cailles.
▪ — ▪ —	**Ä** Rue de Patay, angle de la rue de Tolbiac.	— ▪ ▪ —	**X** Rue du Château-des-Rentiers, près de l'impasse Bourgeois.
▪ — — ▪	**P** Place d'Italie, angle du boulevard de l'Hôpital.	— ▪ — ▪	**C** Boulevard de la Gare, près de la Salpêtrière.
▪ — — —	**J** Boulevard d'Italie, angle de la rue des Cinq-Diamants.	— ▪ — —	**Y** Boulevard de l'Hôpital, angle du boulevard Saint-Marcel.
Lettres commençant par plusieurs points.		**Lettres commençant par plusieurs traits.**	
▪ ▪ ▪	**S** Quai de la Gare, angle du boulevard de la Gare.	— —	**M** Rue de l'Espérance, angle de la Colonie.
▪ ▪ ▪ ▪	**H** Quai de la Gare, près du Pont-Tolbiac.	— — ▪	**G** Rue Watt, angle de la rue du Chevaleret.
▪ ▪ —	**U** Avenue d'Ivry, près de la rue Bertheau.	— — ▪ ▪	**Z** Rue des Chamaillards,
▪ ▪ — ▪	**F** Rue Baudricourt, angle de la rue de Tolbiac.	— — ▪ —	**Q** Quai de la Gare, angle de la rue Watt.
▪ ▪ — ▪ ▪	**E** Rue du Chevaleret, face rue Chinon.	— — —	**O** Avenue d'Italie, angle de la rue du Tage.
▪ ▪ ▪ —	**V** Avenue de Choisy, angle de la rue de Tolbiac.		

Dans les grands postes organisés sur le modèle du périmètre de la rue Jeanne d'Arc, tout nouvellement mis en service, et qui doit servir de type, les appareils précédents sont complétés par des tableaux téléphoniques qui permettent, au moyen de crochets et de cordons souples, de mettre le poste central ou un avertisseur quelconque de son réseau en communication avec les casernes voisines ou avec l'Etat-Major.

Il nous reste maintenant à donner quelques détails sur le service de secours contre l'incendie, tel qu'il a été organisé à la suite de l'adoption des nouveaux appareils.

Avant la pose des avertisseurs publics, des postes de ville, dits postes-vigies, étaient placés dans les différents quartiers. Ces postes, au nombre de 133, contenaient un matériel restreint et étaient confiés à la garde de un ou deux hommes. Ils sont représentés par un petit cercle sur la figure 6, reproduite d'après le plan publié dernièrement par le Conseil municipal. Chacun d'eux était en relation avec la caserne la plus proche au moyen d'un télégraphe à cadran. Lorsqu'on venait leur annoncer un sinistre, les hommes de garde avertissaient la caserne, d'où les secours étaient envoyés. Cette organisation présentait de nombreux inconvénients; d'abord, elle immobilisait un nombre considérable d'hommes et d'officiers chargés de les surveiller; elle nécessitait un matériel important, la plupart du temps inutile, et coûtait fort cher par suite du loyer et de l'entretien des locaux. La manœuvre des appareils demandait un

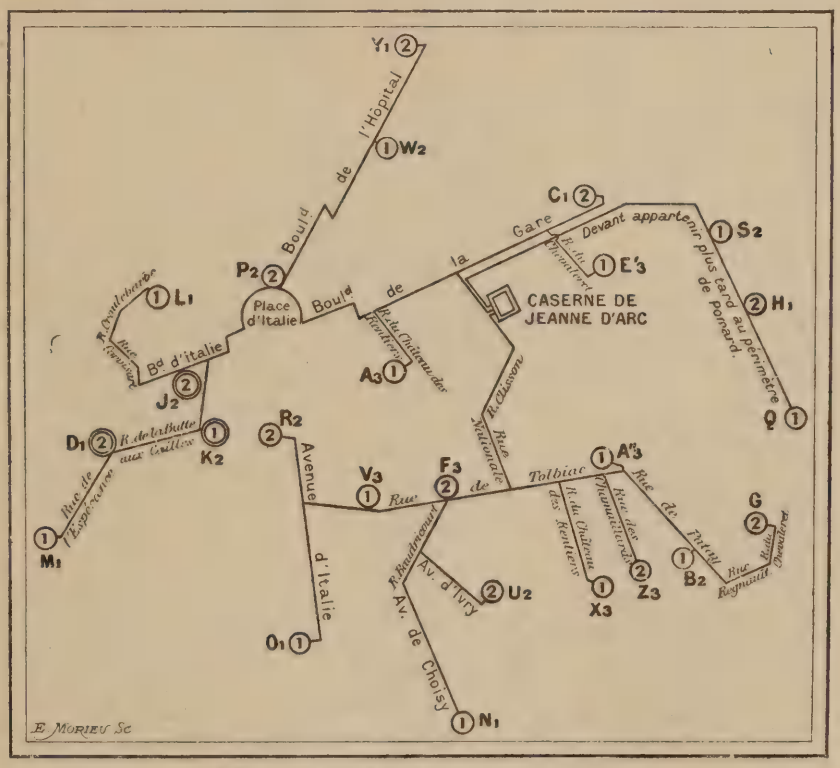


Fig. 7. — Plan du périmètre Jeanne-d'Arc.

apprentissage spécial, et provoquait souvent des erreurs. En outre, le sapeur était impuissant devant un feu important; avec le service de trois ans, il était indispensable de conserver les hommes groupés et de ne pas laisser isolé un soldat inexpérimenté. Au point de vue de la santé et de la discipline, la nouvelle organisation présente des avantages énormes.

Dans cette nouvelle organisation, tous les postes-vigies doivent être supprimés; ils seront remplacés par des avertisseurs publics plus nombreux, plus commodes et qui coûteront moins.

Paris se trouve partagé en 24 sections ou périmètres au milieu de chacun desquels se trouve un poste central qui doit contenir :

1 départ
1 pompe à vapeur
1 grande échelle
1 fourgon ou 2me départ
} attelés.

et qui est desservi par un officier et une trentaine d'hommes. Chacun de ces postes est muni en plus des appareils accessoires tels que ventilateurs, tuyaux, pompes à bras etc.

Les grands postes doivent être au nombre de 12, et des casernes, en nombre égal, contiennent des réserves en hommes et en matériel.

C'est au poste central que viennent aboutir

les appels de tous les avertisseurs placés dans le périmètre, ainsi que le représente le petit plan (fig. 7) reproduit ci-contre.

Chaque périmètre comprend deux réseaux distincts qui aboutissent chacun, au poste central, à un Morse spécial. Cette disposition permet, dans la plupart des cas, d'établir le réseau avec une longueur minima de câbles, et, sur-

Fig. 8. Avertisseur L. Digeon. Vérification de la ligne et des appareils.

tout elle donne une plus grande sécurité ; si un des réseaux vient, en effet, à être mis momentanément hors de service, la moitié seulement des avertisseurs se trouvent immobilisés.

Lorsqu'un poste appelle, l'officier de service envoie directement sur le lieu du sinistre le nombre d'hommes et le matériel qu'il juge nécessaires d'après les indications téléphoniques qu'il a reçues. Par exemple, pour un feu de comble, il enverra l'échelle de sauvetage ; pour

un feu de cave, des ventilateurs, etc. Il avertit en même temps l'état-major. Arrivé sur le lieu du sinistre, il se met en communication, par l'avertisseur le plus proche, avec son poste central, et, de là, comme nous l'avons vu, avec les casernes voisines et l'état-major s'il est nécessaire.

Pour permettre ces communications de service, chaque avertisseur est muni sur le côté d'une porte qui ne peut s'ouvrir qu'à l'aide d'une clé spéciale et qui démasque, en s'ouvrant, une mâchoire *p* (fig. 3 et 8) dans laquelle l'officier introduit les conducteurs d'un téléphone mobile, et une clé de Morse qui sert à provoquer les appels. Il demande ainsi les renforts qui peuvent lui être nécessaires ou avertit qu'on est maître du feu. On évite ainsi toute perte de temps et tout dérangement inutile.

Les résultats déjà obtenus sont excellents; la multiplicité des points d'appel et la promptitude des secours ont permis de réduire à de faibles proportions les incendies qui s'étaient déclarés, et bien que le nouveau service ne soit en vigueur que depuis peu, il est permis de prévoir que les prochaines statistiques indiqueront une diminution notable de l'importance de chaque incendie.

Les plus grandes précautions sont prises pour assurer la régularité du service et le bon fonctionnement des appareils. Chaque avertisseur est vérifié à intervalles réguliers : tous les jours pendant la mauvaise saison, toutes les semaines en temps ordinaire. Pour cela, il suffit d'ouvrir la porte de service, de monter en *p* les téléphones mobiles et de provoquer des appels. On vérifie ainsi l'état de la ligne, de la pile et des appareils.

Le téléphone, du système Krebs, se règle très simplement en éloignant ou en rapprochant le noyau du diaphragme au moyen d'une vis placée sur le fond de sa boîte. Le transmetteur automatique se règle au moyen des vis B et V; plus le couteau E (fig. 3) est rapproché de la roue R et la vis B voisine de la lame *l*, plus les durées d'émission sont longues, mais plus aussi les frottements sont considérables et, partant, le mouvement ralenti. On règle le tout pour obtenir le maximum de rendement, ce qui n'offre aucune difficulté.

Les câbles employés sont du modèle Fortin-Hermann. Comme nous l'avons vu, un seul des fils de ligne est utilisé pour la transmission télégraphique, le retour se faisant par la terre; les deux fils ne sont nécessaires que pour la transmission téléphonique. On a profité de cette disposition pour monter les avertisseurs alternativement sur l'un et l'autre fil, en sorte que si l'un de ceux-ci venait à être défectueux, la moitié des avertisseurs du réseau resterait utilisable. L'intéressé n'entendant pas le ronflement du téléphone n'aurait qu'à se porter à l'avertisseur voisin et à renouveler son appel.

Pour les sinistres importants, du reste, des avertisseurs multiples sont toujours actionnés simultanément. Le cas s'est présenté dernièrement : la simultanéité des appels fut telle que les signaux Morse s'enchevêtrèrent et qu'il fut impossible de les lire; mais il resta les indications téléphoniques qui furent entendues très distinctement. C'est un fait curieux, remarqué dès le début, que ces indications répétées à intervalles réguliers finissent par se succéder au lieu de se confondre. Cet exemple montre toute la supériorité du téléphone; sans ce dernier, en effet, on n'aurait pu savoir d'où provenait l'appel; en outre, si tous les indicatifs avaient été lisibles au lieu de se mêler, il aurait fallu se porter vers chacun des postes appelants, alors qu'il s'agissait d'un seul et même incendie. Le cas précédent est d'ailleurs exceptionnel, — il ne s'est présenté, croyons-nous, qu'une seule fois; — d'ordinaire les indicatifs parviennent au poste successivement. En effet, il suffit d'une seconde d'intervalle pour obtenir des indicatifs distincts. Un des principaux avantages de l'avertisseur téléphonique est de permettre de diriger immédiatement les secours sur le lieu du sinistre.

Il est rare que des fausses alertes se produisent; le carillon d'alarme qui retentit lorsqu'on brise la glace attire en effet les passants, et les mauvais plaisants n'osent pas encourir les responsabilités qui seraient la conséquence de leur action; le cas échéant, il se trouve toujours une personne de bonne volonté pour avertir le poste central et éviter un dérangement inutile.

Le téléphone magnétique a donné des résultats très satisfaisants, et supérieurs en tout à ceux du microphone, qui avait été aussi essayé. L'intensité du son est bien suffisante, et le ronflement, lorsque l'appareil est convenablement réglé, s'entend à plusieurs mètres de distance.

Il faut remarquer, d'ailleurs, que le courant lancé du poste central pour produire ce ronflement est toujours du même sens et qu'il entretient constamment le magnétisme de l'aimant du transmetteur.

Depuis peu, le comité de perfectionnement du régiment de sapeurs-pompiers a autorisé les particuliers à brancher gratuitement sur le réseau municipal des appareils privés qui permettront de multiplier encore les points d'appel. Ces appareils pourraient, en effet, être placés sur la voie publique sans inconvénients pour leurs propriétaires.

Les avertisseurs privés ne diffèrent que fort peu des avertisseurs publics. Le carillon d'alarme est supprimé; en outre, il suffit d'ouvrir la porte (ou de briser une glace) pour mettre le mécanisme en marche, et de la refermer pour le remonter automatiquement par un jeu de leviers très simple. Le téléphone est disposé de façon que l'appelant puisse aussi écouter les indications du poste central et entrer en conversation avec lui. C'est une disposition qu'on n'a pas cru devoir prendre avec les appareils placés sur la voie publique et à la disposition de tous.

Des postes de ce genre sont déjà établis dans plusieurs théâtres et chez des particuliers. Ils ne tarderont pas à se multiplier.

G. Pellissier.

DÉTAILS DE CONSTRUCTION

DES MACHINES DYNAMO [1]

L'armature de la dynamo *Hemming* (fig. 1) est à deux enroulements 1 et 5, séparés par des isolants 4, et reliés respectivement aux collecteurs 3 et 6, de manière que l'on peut alimenter avec cette armature simultanément deux circuits d'ordre très différents : par exemple, un circuit d'arcs et un circuit d'électrolyse.

M. Lamme, ingénieur de la compagnie Westinghouse, prépare d'avance les enroulements de son armature de la façon indiquée par les figures 2 et 3. Les deux plaques A_1 et A_2 de la forme étant réunies serrées par un coin *a* et montées sur un tour, on fixe l'extrémité du brin C sur l'attache *c*, puis on l'enroule suivant $c_1 c_2 c_3$ jusqu'en C_1, dans les bordures longitudinales isolantes D et dans les gorges transversales B; on rabat ensuite comme en *d* (fig. 3) les isoleurs

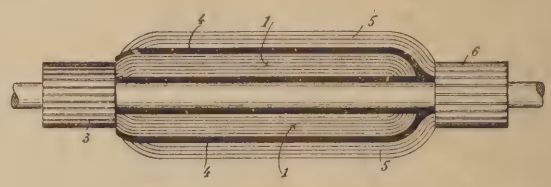


Fig. 1. — Armature double Hemming (1892).

d, on desserre le coin a_1, on sépare les plaques et on enlève l'enroulement. Ces enroulements sont alors disposés comme l'indique la figure 4, entre les dents *e* de l'armature, groupés en sections — autant de sections que de

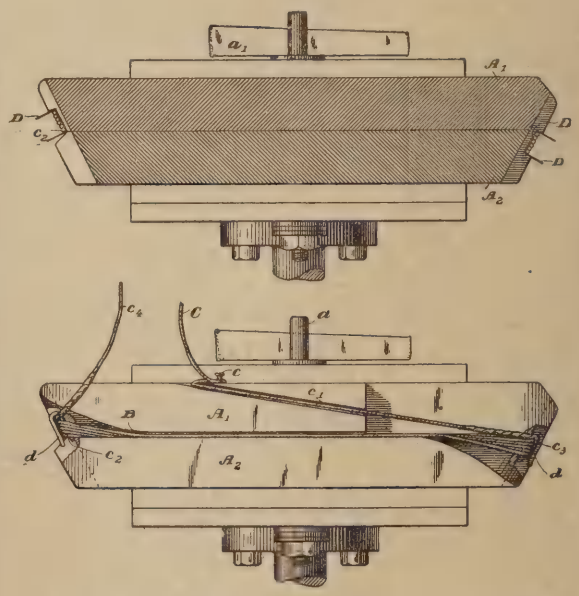


Fig. 2 et 3. — Forme d'enroulement Lamme (1892).

pôles — et séparées, aux points où la différence de leurs potentiels est maxima, par des isolants supplémentaires p_1. Dans une dynamo à quatre pôles, par exemple, les enroulements sont groupés comme en figure 5, en quatre sections superposées deux à deux et séparées sur les fonds par une toile isolante p_2.

L'armature *Lundell et Johnston* a (fig. 6 et 7), ses enroulements constitués par des lames 18 et 9,

[1] *La Lumière Electrique* du 21 janvier 1893, p. 107.

18′ et 9′, pincées en 11, reliées sur la jante de l'anneau 15 par des traverses 13, et rattachées aux fiches isolées 16 de l'étoile 4, de manière à former des sortes de conducteurs en U serrés par les écrous isolés 14 et entourant l'anneau sur trois côtés.

La figure schématique 8 indique la suite de cet enroulement pour une dynamo à dix pôles N et S, de chaque côté de l'armature. Partant

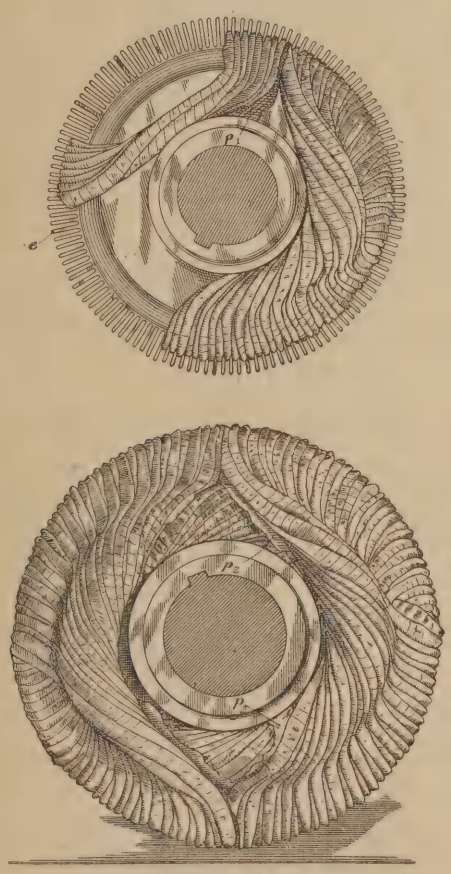


Fig. 4 et 5. — Enroulement Lamme.

de 9, la lame 9-18 va, par la fiche 16, se relier à la lame 18′ 9′ de l'entre-pôles N S suivant, qui, par sa traverse 13, se relie au conducteur 18 suivant; et ainsi de suite, jusqu'au conducteur 18-9[8] qui précède immédiatement 9. Les bras de l'étoile 4 attaquent l'anneau 1 par des semelles 22, à rivets 2.2 et à boulons 23, qui n'interrompent pas la suite des conducteurs, parfaitement accessibles, ventilés, et très solidement assujettis.

Le collecteur de *Patterson et Furnaux* a (fig. 9 et 10) ses segments *d* supportés par des couronnes de mica *f*, qui les empêchent de céder aux chocs, et constituent avec les rondelles *g* et les feuilles de mica *e*, un excellent isolement.

M. J. Bogue effectue (fig. 11) la régularisation de sa dynamo en déplaçant autour de l'armature, par un électro-aimant C^3, en dérivation sur le circuit principal, les pièces polaires A_2 A_2, conjuguées par les attaches en bronze a^5 a^5 et guidées par leurs nervures a_2 dans les rainures a^3 des pôles inducteurs. Quand l'intensité du courant augmente, elle fait d'abord basculer A_2 par C_3, puis

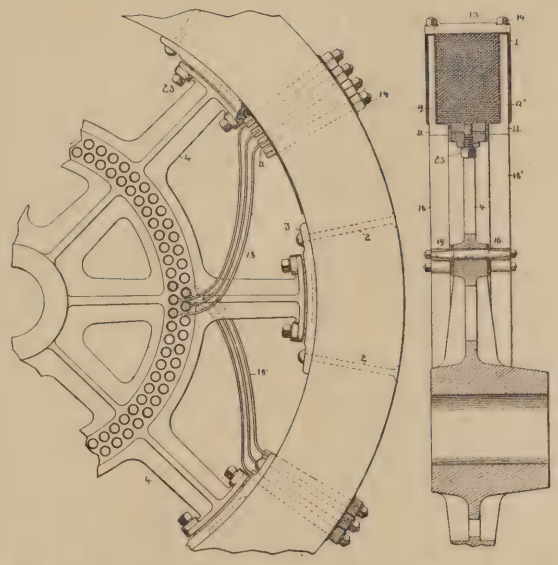


Fig. 6 et 7. — Armature Lundell et Johnston (1892).

elle coupe par C_4 le circuit en c_2, en dirigeant la totalité du courant sur C_3. Ce système, assez compliqué et d'une allure probablement instable, présente l'inconvénient d'une discontinuité a_2 a_3 entre les pôles mobiles et les noyaux inducteurs.

MM. White, Radcliffe et Cooke, emploient comme régulateur le dispositif fort simple et ingénieux représenté par les figures 12 et 13, et qui a pour effet de décaler le commutateur G sous les balais dans un sens ou dans l'autre, suivant que la vitesse de la dynamo s'accélère ou se ralentit. A cet effet, la poulie motrice B, calée sur l'axe A de la dynamo, entraîne le commutateur G, fou sur cet axe, par les leviers C C, en prise avec les coulisses E E du disque F, so-

lidaire de G, et reliées d'autre part à B par les masses D D, enfilées sur les rayons H H, de sorte que leur force centrifuge détermine directement le calage de F G sur A.

Le mode de régularisation proposé par *M. Lundell* pour ses dynamoteurs est facile à suivre sur la figure schématique 14.

L'armature 1 du dynamoteur a deux commu-

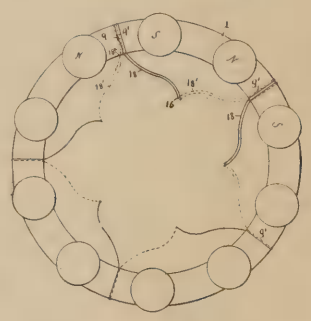


Fig. 8. — Enroulement Lundell et Johnston.

tateurs 2 et deux enroulements égaux et symétriques aboutissant respectivement à ces commutateurs dont les balais, 5 et 6, 9 et 10 aboutissent respectivement aux contacts 7-8, 11 et 12.

Les inducteurs, montés en série, ont aussi deux enroulements 13 et 14, aboutissant respec-

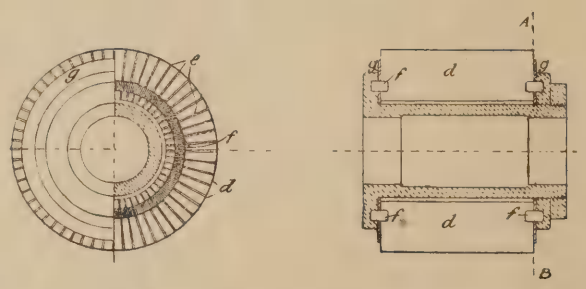


Fig. 9 et 10. — Collecteur Patterson et Furnaux (1892).

tivement aux contacts 15-16, 17 et 18. Le dynamoteur est relié en 19 et 20 au circuit moteur à potentiel constant 19′ et 19″.

Le commutateur-régulateur est formé d'un cylindre à plaques de commutation indiquées schématiquement de 30 à 58, et tournant sous la rangée des contacts 19 à 20. Il permet de faire marcher le moteur à huit vitesses différentes : quatre dans un sens et quatre dans l'autre, suivant que l'on amène sous les contacts l'une ou l'autre des rangées de plaques 1′ à 4″.

Quand on amène la rangée 1′, le circuit se ferme par 19, R, 13, 16, 31, 7, 5, 1, 6, 8, 32, 17, 14, 18, 33, 11, 9, le deuxième enroulement de l'armature, 1 est dans le même sens que le premier 10, 12, 34, 20, 19″, de sorte que tous les enroulements

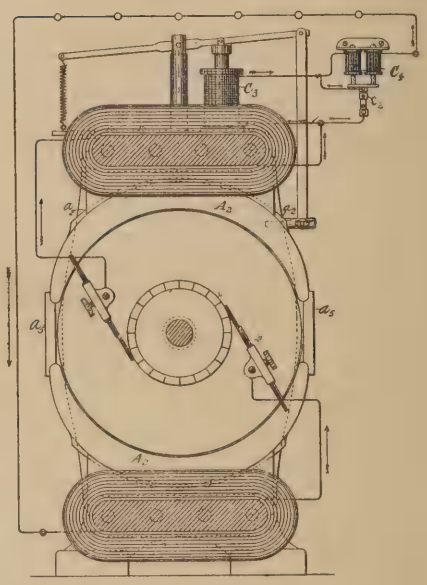


Fig. 11. — Régularisation Bogue (1892).

de l'armature et des inducteurs sont en série avec la résistance R, et que le démarrage du moteur s'effectue graduellement.

Quand on passe en 2′, on supprime la résis-

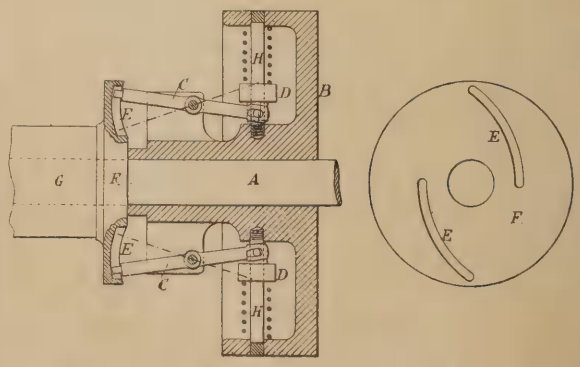


Fig 12 et 13. — Régularisation White (1892).

tance R et le moteur s'accélère. En 3′, on ramène R dans le circuit, mais en groupant en quantité les enroulements de l'armature et des inducteurs; enfin, en 4′, on marche comme en 3′, mais avec R supprimé, de manière que le moteur atteigne sa plus grande vitesse, et cela sans

changer l'intensité du champ inducteur, parce que, si la résistance des inducteurs mis en quantité a diminué de moitié, le nombre de leurs ampères-tours ne change pas, car l'on n'envoie plus, dans chacun des enroulements 13 et 14, que la moitié du courant.

Lorsqu'on passe de 1" à 4", on obtient les mêmes vitesses que précédemment, mais en sens contraire, renversant la marche du moteur, et toujours avec un torque ou couple de rotation à peu près invariable.

On peut améliorer presque indéfiniment cette régularisation en multipliant les enroulements aux inducteurs et à l'armature : en les portant, par exemple, à quatre, comme l'indique la figure 15, avec les mêmes notations que la précédente.

Les figures 16 et 17 représentent l'application

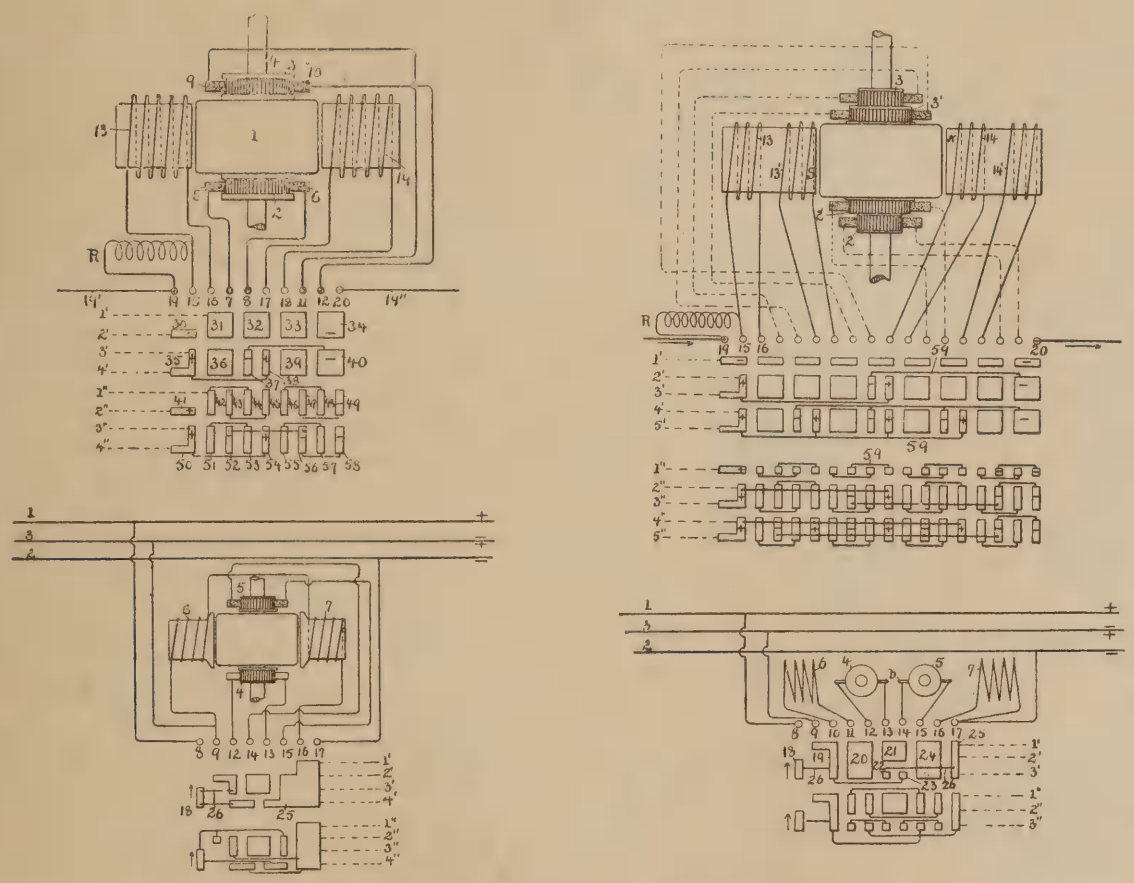


Fig. 14 à 17. — Régularisation Lundell (1892).

du système à un moteur commandé par un circuit à trois fils 1, 2, 3.

On a représenté en figure 16, par 4 et 5, les deux enroulements de l'armature, et, en 6 et 7, ceux des inducteurs reliés respectivement aux fils 1 et 2 du circuit et aux contacts 10 et 11, 16 et 17. Quand on amène la rangée 1' du commutateur sous les contacts 8 à 17, le circuit se forme de 3 à 2 par les enroulements du moteur tous en série, de sorte que le démarrage se fait très lentement; en 2', on ferme ce même circuit sur les fils extérieurs 1 et 2 du circuit, dont la différence de potentiel est double de celle des conducteurs 3 et 2, de sorte que le moteur passe, par exemple, du quart à la demi-vitesse; en 3', les enroulements 6 et 7, 5 et 4 se groupent respectivement en quantité, et le moteur atteint sa pleine vitesse, mais toujours avec un torque à peu près constant.

En figure 17, les enroulements inducteurs 6 et 7, toujours en série, peuvent être considérés comme n'en formant qu'un seul. En 1', les in-

ducteurs seuls sont fermés sur les conducteurs 3 et 2; en 2, ils seront groupés en quantité avec l'armature sur ces mêmes conducteurs; enfin, en 3, les inducteurs restent toujours en série sur 3 et 2, mais les enroulements de l'armature sont groupés en quantité sur 1 et 2, de sorte que le moteur atteint sa pleine vitesse.

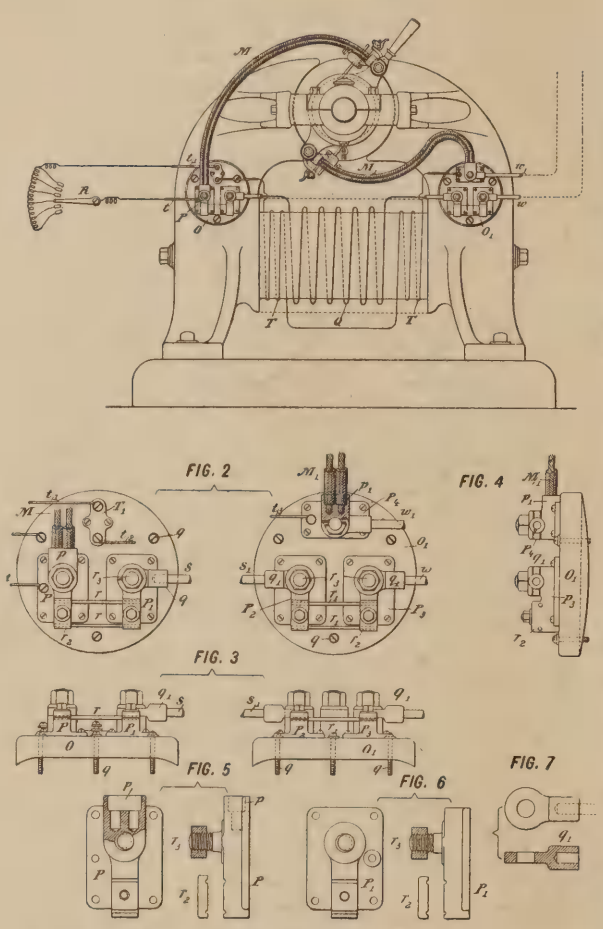


Fig. 18 (1 à 7). — Dynamoteur Wood (1892). Détail des connexions.

Le dynamoteur *Wood*, représenté par les figures 18 (1 à 7) a toutes ses connexions motrices sur deux plateaux O et O', parfaitement accessibles et fixés par des vis 9.

Le câble M d'un des balais aboutit, sur le plateau O, à l'embase pP (fig. 5), reliée par les plombs fusibles $r\,r$, à serrages r_2, à l'attache P', qui reçoit en $q'\,s$ l'une des extrémités de l'enroulement inducteur principal Q, lequel va, par les pièces analogues S', P^2, r', r' et P^3 du second plateau O', se relier en w à la ligne $w\,w'$. L'enroulement dérivé se ferme par P l, le rhéostat R, l', T', l^2, T, l_3 et P_4.

Ainsi qu'on le voit sur les figures 2 à 7, les conducteurs M et M' ont leurs extrémités soudées dans les embases p et p', tandis que les

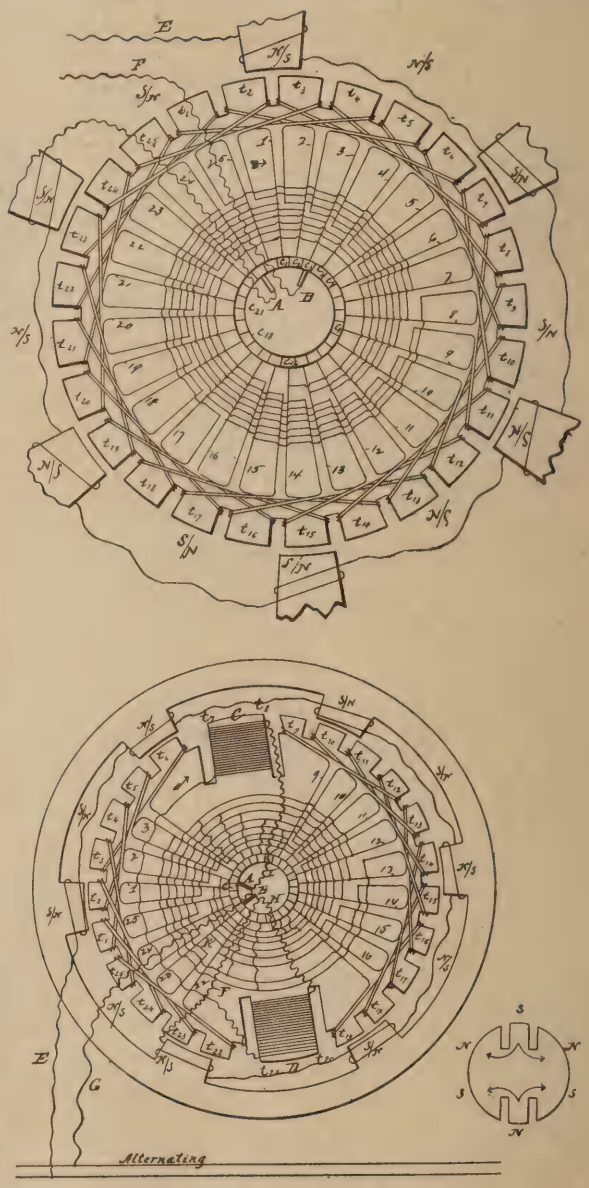


Fig. 23 à 25. — Alternomoteur Bradley (1892).

autres conducteurs $w\ s$..., ont leurs attaches q_1 (fig. 7) fixées par des boulons r^3 aux connexions P_1 P'... On remarquera que les embases p et p' sont assez grandes pour recevoir les extrémités des câbles M et M' en partie recouvertes de leur isolant, ce qui en diminue considérable-

ment la fatigue par flexions au point d'attache.

Le dynamoteur à quatre pôles de *Storey* représenté par les figures 19 à 22 est complètement abrité. Le cylindre A porte les pièces polaires $a\,a$, épanouies en $a'\,a'$; les autres pièces polaires $a_2\,a_2$, à 90° des premières, sont repliées sur les enronlements A' A', et venus de fonte avec les fonds A_3, raccordés exactement au cylindre en a_3, et serrés par les boulons en bronze a^4. Le courant passe dans les enroulements A' A', séparés par un petit intervalle A_2, de façon à déterminer des polarités opposées en $a'\,a'$ et en $a^3\,a^3$.

L'armature B, du type Gramme, est montée sur une étoile à trois bras $b\,b'$, et son arbre C a ses paliers c' fondus avec les fonds A_3 c_2, dont l'un est prolongé de manière à pouvoir renfermer le commutateur D.

L'enroulement de l'alternomoteur *Bradley*, représenté par les figures 23 à 25 est particulier. La figure 23 suppose une dynamos à six pôles avec armature lamellaire crénelée à 25 dents : en général, $n\,n' - 1$ dents, n étant un nombre entier quelconque et n' celui des pôles. Partant du premier segment du collecteur, on enroule le fil d'abord sur les quatre premières dents, de t' à t_1, puis on passe quatre dents, et l'on enroule de t_9 à t_{12}, de t_{17} à t_{20}, de t_{25} à t_3, de t_8 à t_{11}, de t_{16} à t_{19}..., de manière à ne jamais superposer sur une même dent deux cours de fils consécutifs, cha-

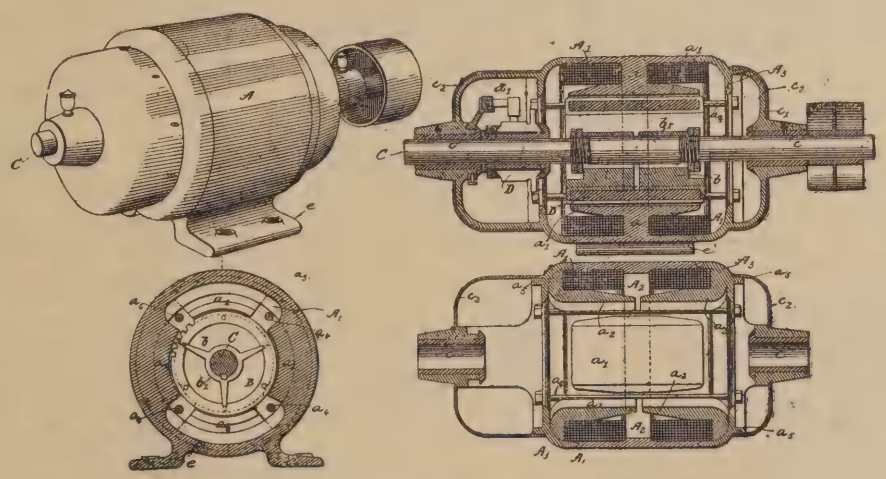


Fig. 19 à 22. — Dynamoteur Storey (1892).

cun retardant, au contraire, d'une dent sur celui qui le précède. Les balais portent sur les segments du collecteur c' et c^5, c' et c_9, c' et c^{13} ou c' et c^{17} : en général, sur des segments d'un rang multiple de 4 et augmente de 1. On développe dans l'armature, par cet enroulement en série, six pôles conséquents, qui, lorsque l'armature tourne dans le sens de la flèche, se déplacent de manière à en assurer la rotation et le démarrage facile, mais avec un rendement moindre que celui des moteurs synchronisés et avec une formation considérable d'étincelles au commutateur.

Afin d'éviter ces inconvénients *M. Bradley* remplace une partie des enroulements de l'armature précédente par deux bobines C et D (fig. 24) montées en dérivation sur les balais et à pôles opposés, de sorte que l'armature, qui n'a plus que 22 dents au cas figuré, à toujours six pôles : les deux pôles de C et D, et quatre pôles directs, symétriquement opposés comme l'indique la figure 24.

L'armature est reliée en série aux inducteurs dont les pôles sont alternativement opposés. Le courant. admis par E, traverse les inducteurs, entre dans l'armature par F et le balai B, se bifurque en K, d'où il traverse l'armature en deux directions opposées, et en sort par G. Ces deux branches du courant induisent des pôles opposés dans les sections de l'armature adjacentes de chaque côté des pôles inducteurs, et, à chaque passage d'un segment du commutateur, ces pôles reculent d'une dent en sens contraire de la rotation de l'armature.

En raison de l'auto-induction considérable des enroulements C et D, il n'y passe, au démar-

rage, presque pas de courant; mais, à mesure que la vitesse augmente, et, avec elle, la force contre électromotrice de l'enroulement direct, l'intensité augmente en C et D jusqu'à ce que le moteur arrive au synchronisme, point où la majorité du courant passe en C et D, qui développent dans l'armature la série de pôles fixes indiquée en figure 25. Le moteur fonctionne alors en synchronisme automatique, car, si l'on vient, par exemple, à le surcharger, le rapport

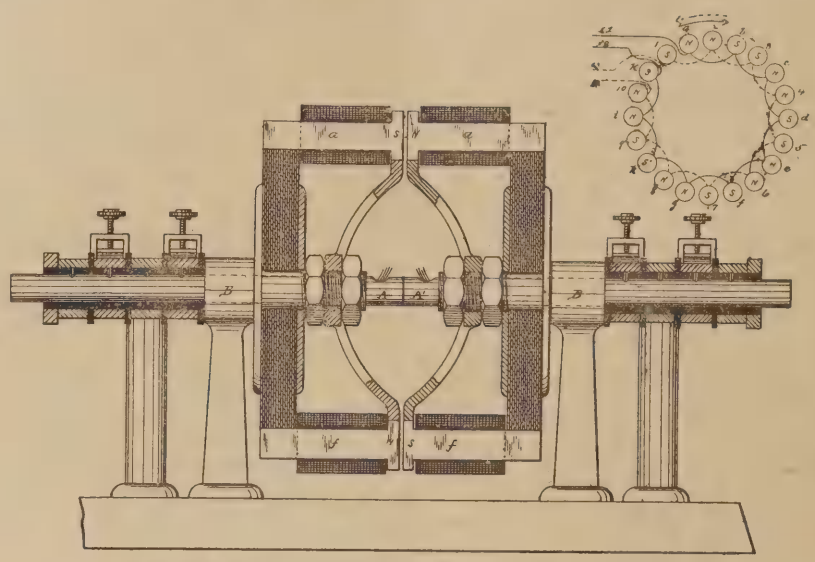


Fig. 26 et 27. — Alternomoteur polyphasé Bradley (1892).

des résistances des deux circuits de l'armature change, et le circuit direct intervient pour rétablir le synchronisme. On obtient ainsi, sans autre inconvénient que l'affaiblissement du torque de démarrage par les coupures C et D, une armature à la fois à démarrage rapide et synchronisable.

L'alternomoteur *Bradley* représenté par les

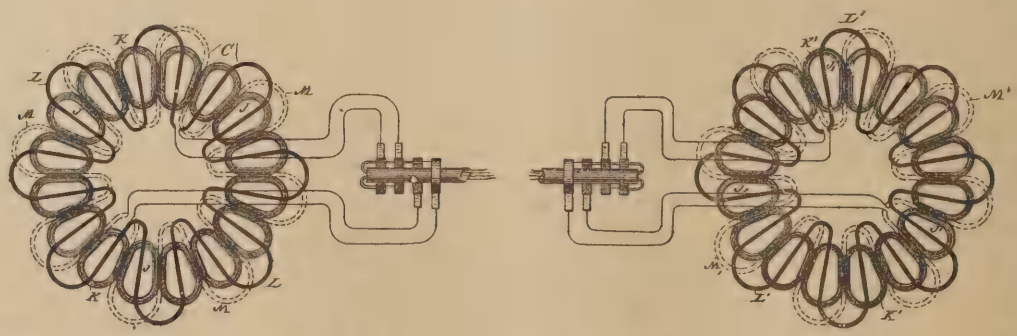


Fig. 30 et 31. — Transmission Tesla.

figures 26 et 27 est destiné à marcher sous l'action de deux courants alternatifs déphasés : 11-12 et 13-14. Il se compose de deux armatures *a, f*, *af* à pôles en regard et en nombre pairs : 20, par exemple, de chaque côté. Sur chacune des couronnes, de deux en deux, les bobines *a b c d e f g h i k* sont reliées au circuit 11-12 de manière que leurs pôles soient alternativement opposés, et les autres bobines 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, intercalées entre les premières, sont reliées de même au courant 13-14, décalé d'un quart de phase par rapport à 12-14. Il se produit ainsi dans la couronne représentée figure 27 une onde polaire ou rotation de pôle dans un sens ou dans l'autre suivant le retard relatif des phases, et qui, s'il ne passait pas de courant

dans l'autre couronne, tendrait à faire tourner la première couronne par attraction tangentielle sur l'autre, en sens opposé de la rotation des pôles. Il en résulte, que si l'on fait passer dans la seconde couronne une onde polaire de sens opposé à la première, les deux couronnes se mettront à tourner en sens contraire. On pourrait peut-être réaliser ainsi un moteur très énergique et à faible vitesse en synchronisme.

Après une enquête assez longue (du 15 mai 1888 au 13 décembre 1892) le *Patent Office* de Washington vient d'accorder à *M. Tesla* un important brevet pour la transmission de la force par courants polyphasés; nous en donnons ci-dessous les dispositions principales.

La génératrice G (fig. 28 et 29), dont les in-

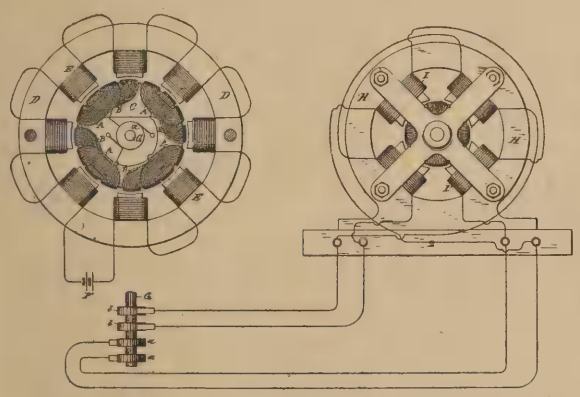


Fig. 28 et 29. — Transmission polyphasée Tesla (1888-1892).

ducteurs E sont excités par une source d'électricité F, porte deux enroulements A et B sur son armature C. L'enroulement A, en série, aboutit aux balais *a, a;* l'enroulement B aboutit en *bb* et est aussi disposé en série, mais alterné par rapport à B, de façon que les maxima de ses phases coïncident avec les minima des phases de B.

La réceptrice, à quatre pôles I, a son armature disposée comme celle de la génératrice, mais seulement avec deux paires d'enroulements, parce qu'elle n'a que quatre pôles au lieu des huit de la génératrice. Il en résulte qu'elle fait deux tours pour un de la génératrice.

Les figures 30 et 31 représentent l'application de ce principe à un moteur du genre Ferranti-Thomson où l'armature à bandes L tourne entre deux couronnes d'inducteurs J, à pôles alternativement opposés. On a doublé ce conducteur d'une armature auxiliaire M, décalée d'un quart de phase, et l'on a fait de même en M' pour la réceptrice, identique à la génératrice, avec laquelle elle tourne sychroniquement.

En figure 32, la génératrice a son armature fixe O pourvue de 24 bobines P P', enroulées en série suivant deux sections alternant d'une bobine à l'autre : l'inducteur mobile Q a ses douze bobines Q' excitées en série par R. Les moteurs sont constitués chacun par un inducteur fixe S,

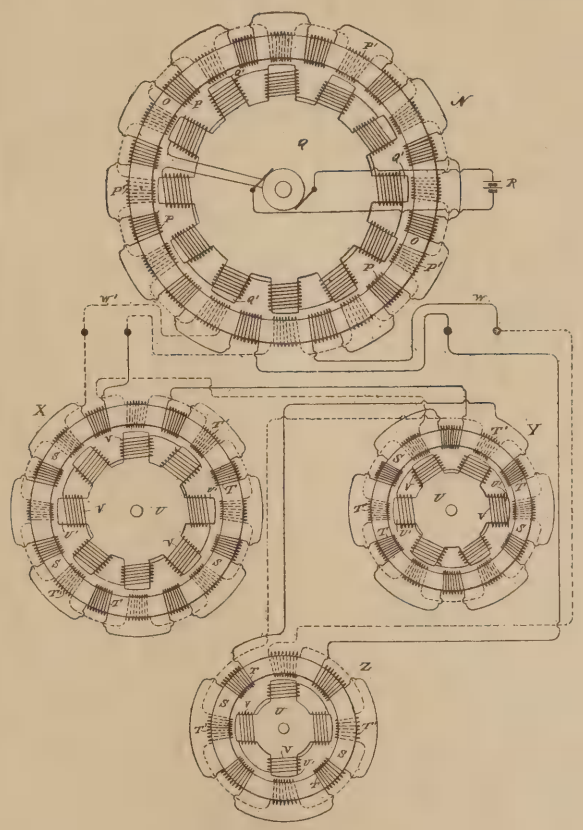


Fig. 32. — Tesla.

à deux séries de bobines T et T', reliées aux séries P et P' de la génératrice, et par une armature U V, à bobines U', reliées en série ou indépendantes.

Supposons les séries P et P' de la génératrice enroulées alternativement en sens contraire, de manière à constituer dans l'anneau O un pôle libre entre chaque paire de bobines d'une des séries P ou P'; il se produira, à chaque tour de l'inducteur Q, dont les 12 pôles sont alternativement opposés, douze ondulations ou émissions de courant dans chacun des circuits

w et *w'*. Le moteur X, qui a 36 bobines, ou 8 pôles libres, fera donc un tour et demi par tour de la génératrice, et le moteur Z, à 8 bobines, ou à quatre pôles libres, en fera trois.

Il est, d'autre part, facile de modifier la vitesse de transmission de ces moteurs en changeant le groupement de leurs bobines inductrices. On peut, par exemple, au lieu d'opposer alternativement les pôles des 8 bobines du moteur X, les alterne seulement de deux en deux : faire suivre deux pôles N de deux S, ce qui a le même effet que de réduire de moitié le nombre des pôles, et double la vitesse du moteur.

GUSTAVE RICHARD.

MOTEUR BARY

Les lecteurs connaissent déjà [1] les machines reversibles à courants alternatifs et à induit et inducteur symétrique de M. Bary.

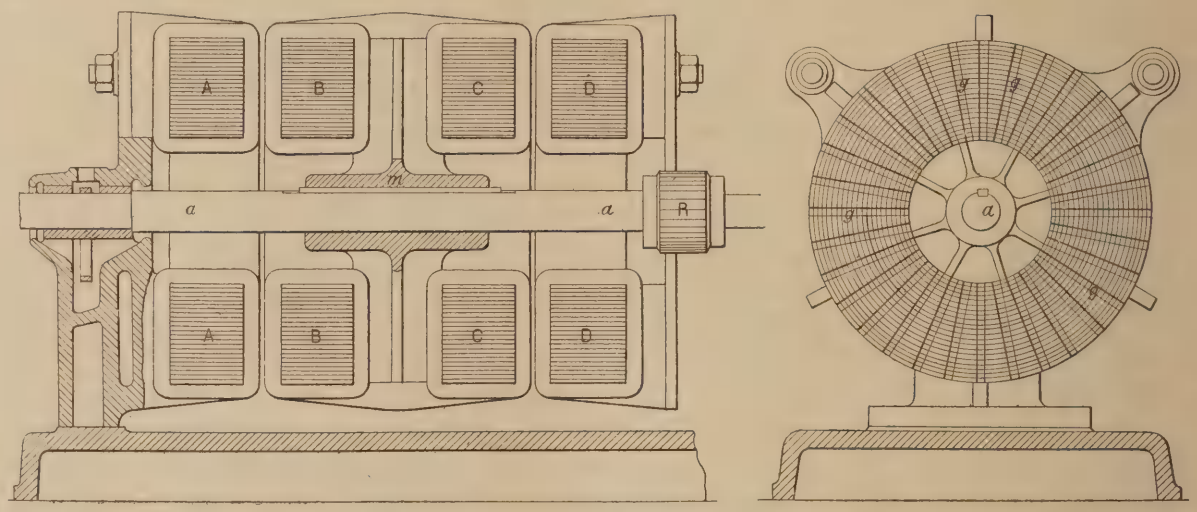


Fig. 1 et 2. — Moteur Bary.

M. Bary vient d'imaginer un nouveau système de moteur ayant quelques points communs avec ses premiers moteurs et s'appliquant aux courants continus aussi bien qu'aux courants alternatifs.

Cet électromoteur se compose, comme les anciens, de deux parties semblables A et B et placées l'une en regard de l'autre. Chacune d'elles a la forme d'un disque de fer obtenu très simplement par l'enroulement d'une bande de tôle dont les spires sont isolées à l'aide d'un papier goudronné assez léger, de façon à éviter ou tout au moins à diminuer la formation des courants de Foucault dus aux variations des champs magnétiques.

Cet enroulement affecte donc absolument la même forme qu'une bobine de ruban très plate, et est d'une construction des plus faciles et des moins coûteuses. Il est représenté de face sur la figure 1 et de profil sur la figure 2.

Sur une des bases de ce cylindre plat sont creusées des gorges *g g*....., radiales dont les bords sont parallèles et la profondeur uniforme de façon à former un parallélipipède droit destiné à recevoir les bobines induites ou inductrices.

L'enroulement des bobines s'effectue de la même manière que celui d'un anneau Gramme, et comme pour celui-ci chaque encoche peut recevoir une seule bobine ou plusieurs en quantité.

L'une des parties A et B placées en regard est fixe et montée directement sur le bâti, l'autre B est mobile et est maintenue par un manchon *m* en bronze portant un croisillon et claveté sur l'arbre *aa*.

Sur cet arbre est monté un collecteur R dont chaque touche est reliée à deux bobines voisines de la partie mobile B, comme pour les machines ordinaires. Sur ce collecteur frottent deux balais.

[1] *La Lumière Électrique*, t. XL, p. 241.

Les deux enroulements de A et de B peuvent être à volonté reliés en tension ou en quantité suivant le voltage de la canalisation qui doit alimenter le moteur.

Les deux moitiés de l'anneau fixe A sont montées en quantité pour former une machine bipolaire. Les balais opèrent de même un couplage analogue dans la bobine B à l'aide du collecteur, et évidemment dans une direction perpendiculaire à la première.

Si l'on voulait obtenir une machine multipolaire à l'aide de plusieurs balais sur le collecteur, les connexions de la partie fixe A devraient se faire en conséquence pour obtenir le même nombre de pôles.

Le fonctionnement de ce moteur sous l'action d'un courant continu est évidemment le même que celui d'une machine ordinaire à courant continu.

Alimenté par des courants alternatifs, il se comporte encore de la même façon qu'une machine à courant continu, c'est-à-dire, en somme, comme un électrodynamomètre. Mais tandis qu'une machine à courant continu fonctionne difficilement sous l'action de courants alternatifs et en particulier par suite de la différence des self-inductions de l'induit et de l'inducteur, dans le cas actuel l'induit et l'inducteur étant identiques les courants passant dans l'induit et l'inducteur ne sont pas décalés l'un par rapport à l'autre ou du moins ne peuvent l'être que très faiblement. De plus on a dans ces conditions le minimum de self-induction pour une machine de puissance donnée.

Enfin, au fur et à mesure que la charge augmente, la réaction d'induit, ou plus exactement l'induction, mutuelle diminue considérablement la self-induction de chacune des bobines A et B.

Pour éviter les inconvénients de l'attraction des deux anneaux, qui obligerait à mettre des butées assez fortes sur les paliers, ce qui serait une cause de perte en frottement, on cale sur l'arbre une autre partie mobile C (fig. 2) et sur le bâti on monte une bobine D fixe comme A. Grâce à cette disposition, l'arbre se trouvant sollicité également de chaque côté n'exerce sur les paliers que des effets latéraux absolument négligeables.

Les parties mobiles et fixes peuvent être interchangées, et de plus on peut les rendre toutes mobiles en les montant deux à deux sur des arbres différents qui tourneront en sens contraire.

Le second moteur C D de la figure 2, identique au premier, peut être monté en quantité ou en en série sur celui-ci, suivant le voltage.

Enfin, on peut dans certains cas, suivant la puissance du moteur, bobiner ensemble les deux anneaux B et C, soit en enroulant chaque bobine de C après la bobine correspondante de B, et même en remplaçant par un seul anneau les deux pièces B et C. ce qui n'exigera encore qu'un seul collecteur.

Des essais faits sur des moteurs de très faible puissance ont donné de très bons résultats et ont décidé M. Bary à faire construire un moteur d'une assez forte puissance, dont les essais sont poussés activement, mais sur lesquels nous n'avons pas encore de renseignements bien précis.

Quoi qu'il en soit, le nouveau moteur de M. Bary nous semble d'une construction simple et robuste, ce qui permettra de l'employer dans de nombreuses applications, et notre plus grand désir sera de lui voir fournir une brillante carrière.

F. Guilbert.

CHRONIQUE ET REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

Fabrication électrolytique du chlore et de la soude, par MM. Cross et Bevan [1].

La fabrication de la soude et des chlorures décolorants a donné lieu à beaucoup de recherches dans ces dernières années, et le moment paraît proche où les méthodes électrolytiques seront appliquées en grand et où nous pourrons juger de leur valeur. Sans accorder une confiance absolue aux prix de revient établis d'après des considérations théoriques ou des expériences de laboratoire, il est parfois utile de les connaître, car en les majorant convenablement, on arrive à se faire une idée approximative des risques à courir pour un bénéfice aléatoire. A ce

[1] Communication faite à la *Society of Chemical Industry*, le 5 décembre 1892.

titre, les chiffres cités par MM. Cross et Bevan méritent d'être signalés. Ils se rapportent au traitement électrolytique du sel marin par la méthode Lesueur; mais peu importe la méthode, car la plupart des détails du compte sont indépendants des procédés mis en œuvre.

Une installation suffisante pour traiter 18 tonnes de sel par 24 heures comprend une paire de machines à vapeur, chacune de 1 200 chevaux, des dynamos et des aires à électrolyse. La production de cette force motrice de 2400 chevaux, en comptant le charbon à 12,50 fr. la tonne, avec une dépréciation de 10 o/o par an pour les machines et chaudières, coûterait au maximum 1500 francs par 24 heures. La perte entre le travail indiqué sur les machines et l'énergie électrique aux bornes des dynamos peut être fixée à 17 o/o, de sorte qu'il y aurait 2000 chevaux réellement utilisés. On aurait ainsi un courant de 331 555 ampères sous une tension de 4,5 volts, et le nombre d'ampères-heures disponibles pour l'électrolyse serait de 7 957 320 dans les 24 heures.

Chaque ampère-heure peut libérer 1,32 gr. de chlore et 1,5 gr. de soude caustique, de sorte qu'avec un rendement admissible de 80 o/o, la production journalière serait de 8425 kg. de chlore, équivalant à 22 770 kg. de chlorures décolorants, et 9520 kg. de soude caustique.

Les chlorures décolorants à 188 francs la tonne donneraient 4250 francs, et la soude caustique à 300 francs la tonne encore 2860 francs, soit un produit total de 7 100 francs.

Quant aux dépenses elles pourraient être prévues par jour comme suit :

Force motrice : 57600 chevaux-heures.... Fr.	1 500
18 tonnes de sel à 15 francs.....	270
12 tonnes de chaux à 15 francs.....	180
Caisses, emballages, etc.....	450
Dépréciation à 10 o/o par an sur machinerie et bâtiments.....	250
Remplacement des diaphragmes et des anodes.	750
Direction et surveillance.....	125

Soit un total de 3 775 francs, auquel s'ajouteraient l'intérêt du capital et quelques menus frais. Les dépenses de premier établissement sont estimées à 1 250000 francs, ce qui correspond à un intérêt de 250 francs par jour.

En résumé :

Recettes probables..... Fr.	7 000
Dépenses certaines.....	4 000

d'où un bénéfice plus ou moins assuré de 3000 francs par jour.

Un pareil résultat, dit la *Revue Industrielle*, qui commente ces chiffres, est trop beau pour être accepté sans réserve. Les calculs précédents n'indiquent rien pour la main d'œuvre, pour la transformation du chlore en chlorures, non plus que pour les frais généraux : il est fort probable qu'on ne se tiendrait pas aux 1 500000 francs de premier établissement, ni aux 4000 francs de dépenses quotidiennes. Les opérations électrolytiques entraînent, en général, des frais considérables d'entretien et de renouvellement : elles sont exposées à des interruptions fréquentes à cause de leur délicatesse même, et on doit faire largement la part des surprises. Enfin une dépréciation des cours des chlorures et de la soude est à craindre du jour où leur prix de revient aura sensiblement diminué. Il ne faut donc prendre dans la communication de MM. Cross et Bevan que l'indication du bénéfice maximum réalisable et le réduire de moitié ou des deux tiers si l'on tient à éviter des désappointements.

A. H.

Pile Maquay (1892).

Cette pile est disposée de façon à rendre très facile l'enlèvement et le remplacement des zincs *c*. Ces zincs sont vissés par un filet à gauche dans les boutons *g*, filetés à droite, et qu'il suffit de tourner pour enlever le zinc : des rondelles

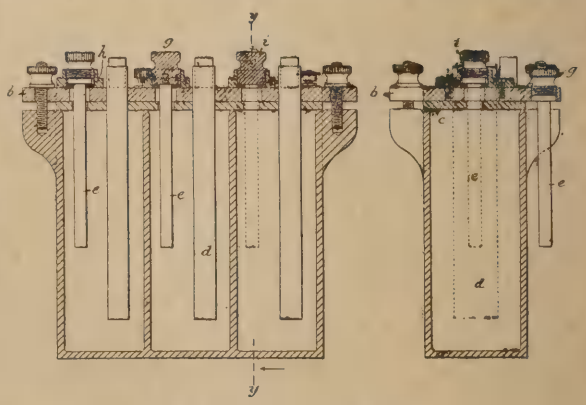


Fig. 1 et 2. — Pile Maquay.

de caoutchouc *h* assurent l'étanchéité du joint. Pour le transport de la pile, on dispose les zincs latéralement comme en figure 2, et l'on bouche les ouvertures correspondantes du couvercle *b* par des tampons en caoutchouc *ii*. Le couvercle *b* est lui-même serré à joint étanche sur la pla-

que de caoutchouc *c*. Les charbons *d* y sont solidement fixés. G. R.

Appareils téléphoniques Mix et Genest.

Le public demande des appareils téléphoniques à la fois commodes et de forme élégante.

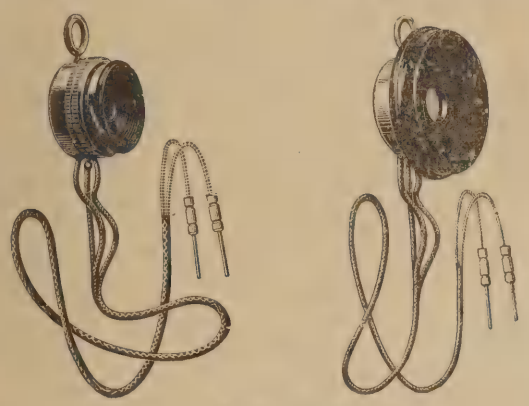


Fig. 1 et 2.

Les nouveaux modèles d'appareils construits par la maison Mix et Genest ont été établis dans le but de réaliser ces conditions.

L'ancien téléphone Bell, malgré ses excellentes qualités, est aujourd'hui un peu délaissé, principalement à cause de son maniement assez incommode. On lui préfère le téléphone plat, dont l'embouchure est disposée parallèlement à

Fig. 3 et 4.

un aimant en forme de fer à cheval très allongé. D'autre part, on rencontre aussi fréquemment le téléphone en forme de tabatière.

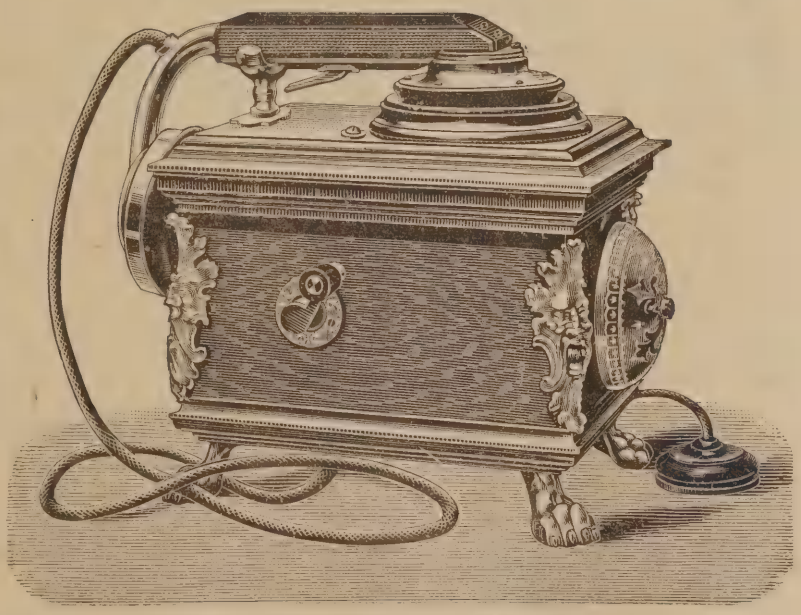


Fig. 5. — Poste téléphonique Mix et Genest.

Les figures 1 et 2 représentent deux appareils de ce genre, se composant d'une boîte en laiton sur laquelle est vissée l'embouchure en ébonite. L'aimant, lamellaire, est de forme demi-circulaire. Le réglage se fait au moyen d'une vis à double écrou, permettant d'arrêter exactement

la distance voulue entre les pôles et le diaphragme.

Dans le petit modèle l'aimant n'est composé que de deux lamelles ; la membrane n'a que 50 millimètres de diamètre ; c'est l'appareil domestique. Le grand modèle peut, au contraire, très bien servir pour la téléphonie à grande distance ; son aimant est à trois lamelles et le diamètre de son diaphragme est de 78 millimètres.

Un téléphone du même genre, mais muni d'un aimant à pôles concentriques, a été combiné avec le microphone Mix et Genest, ces deux appareils étant réunis, comme on le voit figure 3, par une poignée en métal garni de noyer. Quoique très léger, ce microtéléphone est un très bon instrument : il fait partie du poste complet que représente la figure 4, et qui comprend une sonnerie d'appel, un crochet commutateur, une bobine d'induction, une clef d'appel et, au besoin, un parafoudre de forme ordinaire.

Ce poste est construit en trois modèles de dimensions différentes ; il peut être fixé au mur ou sur un bureau. Mais pour cette dernière application, la maison Mix et Genest construit des modèles plus élégants (fig. 5 et 6). Ceux-ci sont d'ailleurs pourvus d'un appareil d'appel électromagnétique, dont on voit la manivelle sur la face antérieure de la boîte. Ordinairement, les

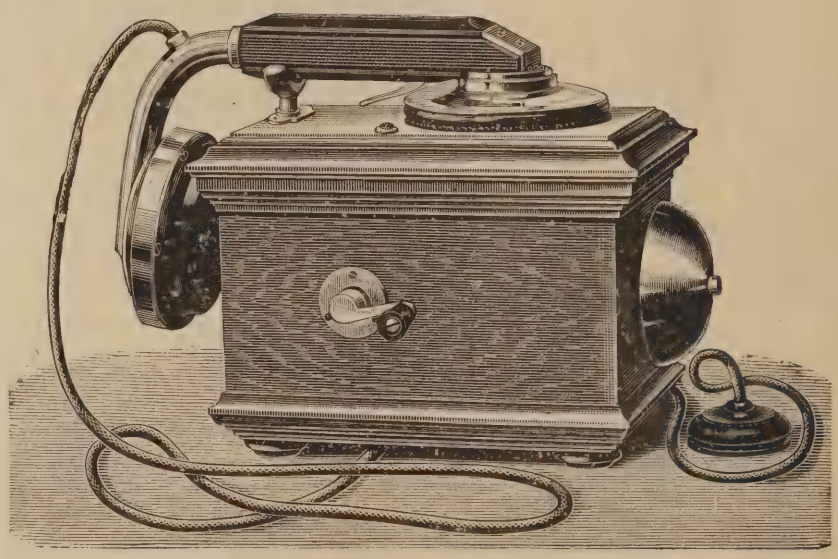


Fig. 6. — Poste téléphonique Mix et Genest.

sonneries électromagnétiques comportent deux timbres placés côte à côte. Pour gagner de la place, on se sert, dans les postes de bureau que représentent nos figures, de deux timbres concentriques de 6 et 8 centimètres de diamètre. Ce dispositif donne aussi un carillon de deux notes différentes alternées, dont l'effet est loin d'être désagréable à l'oreille.

E. Z.

Expériences de traction électrique.

L'un des cas où la traction électrique est surtout applicable, et où il ne peut être question de la traction animale, c'est celui de parcours à pentes relativement raides qu'il s'agit de franchir rapidement. Par suite du poids considérable de la voiture électrique avec ses machines l'adhésion des roues aux rails est excellente et permet de marcher sur des plans très inclinés.

Afin de faire quelques expériences à ce propos, on a construit récemment à Budapest une ligne d'essai contenant des pentes de 10 o/o et de 5,28 o/o. Les essais ont montré que l'on pouvait franchir aisément des pentes de 10 o/o et que l'ascension présentait moins de difficultés que le fonctionnement du frein à la descente. Les résultats numériques de quatre séries d'essais ont été communiqués à la *Zeitschrift für Elektrotechnik*, dont nous reproduisons ci-après le tableau.

Tous les essais ont été faits la nuit pour évi-

ter les fluctuations de tension. La voiture était du type de la Compagnie des tramways électriques de Budapest, avec transmission à chaîne et réduction de vitesse de 31 à 11.

Poids de la voitures (tonnes).....	4,13	4,13	4,13	4,13
Charge (tonnes).....	2,40	2,40	0,37	0,37
Poids total (tonnes)..	6,53	6,53	4,50	4,50
Nombre d'essieux moteurs.....	2	1	2	2
Longueur du parcours (mètres.)....	31	31	30	30
Pente o/o.....	0	0	5,28	9,6
Durée du voyage (secondes).....	51	50	8	14
Vitesse (kilomètres à l'heure).....	22	22,4	13,5	7,7
Nombre de tours du moteur, par minute.	549	560	337	192
Volts.....	282,5	285	266	260
Ampères.....	26,0	24,5	54	68
Watts.....	7345	6982	14364	17680
Puissance électrique (chev.).....	10	9,5	19,55	24,1
Force de traction (kilog. par tonne)....				
Force en palier.....	15,2	15,2	15,2	15,2
— sur pente.....			53,7	97,5
— totale (kilog.).	99,2	99,2	369	508
Puissance mécanique (chevaux....	8,27	8,41	15,49	14,5
Rendement (o/o).....	82,57	88,62	79,41	60,37
Pertes totales (o/o)...	17,43	11,43	20,59	39,63

Ces expériences sont une démonstration de plus de l'élasticité du moteur électrique.

A. H.

Un nouveau galvanomètre balistique.

M. E. Willyoung a présenté au Franklin Institute une nouvelle forme de galvanomètre qui présente des particularités intéressantes. Cet instrument est représenté par la figure 1. Deux bobines d'égales dimensions sont disposées autour d'un système magnétique suspendu librement. Les deux bobines ne sont distantes entre elles que d'un peu plus d'un millimètre, laissant juste assez de place pour permettre à la tige de suspension de se mouvoir. La résistance des deux bobines en série est de 5000 ohms ; elles sont enroulées avec un fil de diamètre croissant du centre à la périphérie, ce qui permet d'abaisser considérablement la résistance totale et d'augmenter la sensibilité dans le rapport de 9 à 4. Un cordon souple R permet d'ailleurs de réaliser les groupements les plus divers entre les éléments de ces bobines. Pour inspecter le système magnétique intérieur, on peut soulever l'une des bobines en agissant sur l'écrou V.

Le système magnétique est suspendu à un fil de quartz Q de 70 millimètres de longueur. Afin de pouvoir déterminer facilement le coefficient de torsion, la tête de torsion T est divisée. Tout le système est fixé sur deux colonnes en ébonite à base cannelée, les cannelures ayant pour but d'augmenter la résistance d'isolement à la surface.

La modification la plus importante apportée à la construction de ce galvanomètre consiste dans l'application d'une méthode très simple pour faire varier sa sensibilité entre de très grandes limites. On sait que dans les instruments de ce

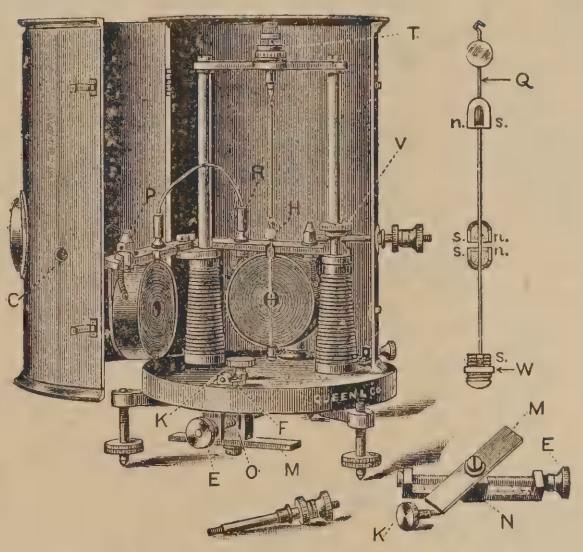


Fig. 1. — Galvanomètre Willyoung.

genre, on fait ordinairement varier la sensibilité, en affaiblissant plus ou moins l'action du magnétisme terrestre à l'aide d'un aimant compensateur. Cette méthode est très incommode ; elle a surtout l'inconvénient de déplacer le zéro.

Considérons un système astatique, où l'action du magnétisme terrestre se manifeste par la différence des moments magnétiques. Pour rendre ce système plus sensible, nous affaiblissons l'action du magnétisme terrestre en employant un aimant spécial. Le système mobile se trouve alors soumis à deux forces agissant, en direction et en intensité, comme dans la figure 2. La diagonale du parallélogramme des forces nous donne alors la force résultante A D en grandeur et en direction. Il suffit alors que le magnétisme terrestre change très peu de direction pour que la résultante varie considérablement. Dans la

figure 2 *b*, par exemple, elle a tourné de près de 180°. On constate un déplacement continu de la position de repos, déplacement d'autant plus rapide que le champ terrestre a été plus affaibli.

Pour éviter ces perturbations, M. Northrup, de la maison Queen et C°, de Philadelphie, emploie une méthode dont la figure 3 montre le principe.

En *a*, on a représenté un aimant en fer à cheval muni à son sommet d'une barre en fer doux A B. En *b*, cette barre de fer doux se trouve à peu près au milieu de l'aimant, on voit que les lignes de force sont déviées et attirées par le fer. En *c*, le fer doux réunit les deux pôles, de sorte que presque toutes les lignes de force traversent le fer, et n'exercent donc plus d'action extérieure.

Considérons maintenant le système magnétique de la figure 1. Il se compose de 4 aimants

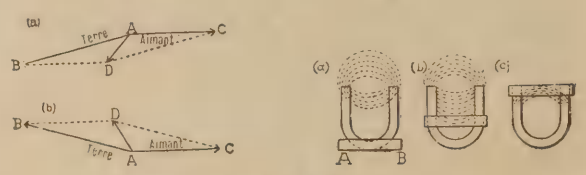


Fig. 2 et 3.

en forme de cloches, formant deux systèmes astatiques. Les aimants extérieurs sont un peu plus longs que les aimants intérieurs, dont ils détruisent l'action et dirigent le système. En affaiblissant ces aimants extérieurs, on en amoindrit la force directrice jusqu'à ce que, finalement, les aimants inférieurs soient les plus forts et fassent tourner le système de 180°.

Ce réglage est très facile à effectuer. L'aimant inférieur est muni d'un pas de vis très fin qui permet de faire déplacer un anneau de fer doux W.

L'expérience a d'ailleurs montré l'efficacité de ce réglage. En employant la méthode ordinaire de l'aimant compensateur on obtint :

Demi-période.....	4,68 secondes.
Élongation moyenne pour 1,44 volts...	100 millimètres.
Déplacement du zéro en 5 minutes....	2,5 —

Avec la méthode Northrup :

Demi-période.....	11,1 secondes.
Élongation moyenne pour 1,44 volts...	211,5 millimètres.
Déplacement du zéro en 5 minutes....	Imperceptible.

Et après avoir rendu le système plus astatique :

Demi-période.....	21,6 secondes.
Élongation moyenne pour 1,44 volts...	474 millimètres.
Déplacement du zéro en 5 minutes....	Imperceptible.

La grande période d'oscillation de plus de 40 secondes sans déplacement du zéro est très remarquable. Ce système est naturellement plus lourd que la suspension ordinaire. Quand on veut se servir de suspensions légères, on emploie un aimant directeur M (fig. 1), fixé sous la base de l'instrument et que commande une vis E. Il est facile d'enlever cet aimant en dévissant K, pour revenir à la disposition précédemment décrite.

A. H.

Contribution au calcul des moteurs à courants alternatifs, par M. E. Arnold (1).

Depuis les publications de Tesla sur les applications du principe de Ferraris et depuis l'exposition de Francfort, on travaille de toutes parts activement au développement des moteurs à courants alternatifs. La difficulté du problème et la distance considérable qui existe entre un moteur théorique et un moteur capable de répondre à toutes les exigences de la pratique expliquent la lenteur de ce développement.

Les moteurs à courants alternatifs peuvent être divisés en deux classes :

1. Moteurs synchrones.
2. Moteurs asynchrones.

Dans les deux sortes de moteurs, on peut employer du courant alternatif ordinaire ou des courants polyphasés. Nous ne considérerons dans cet article que le premier groupe.

Moteurs synchrones.

Ces moteurs sont caractérisés par l'excitation séparée de leur armature, soit par du courant continu, soit par du courant redressé, l'induit tournant synchroniquement avec le champ alternatif.

La figure 1 représente schématiquement un moteur synchrone bipolaire pour courant alternatif simple. L'induit excité par du courant con-

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 27 janvier 1893.

tinu est désigné par A, l'inducteur excité par du courant alternatif est désigné par F.

Supposons que pour l'instant que nous considérons le sens du courant soit indiqué par les flèches, et que l'armature se trouve dans une position ($m_1 m_1$), qu'elle prend au moment où l'intensité magnétomotrice atteint son maximum. La polarité de l'armature est telle que le mouvement s'effectue de gauche à droite, dans le sens de la flèche; après chaque demi-tour, ces conditions se retrouvent et le moteur peut donc tourner d'une façon continue en produisant du travail extérieur. Si le nombre d'alternativités par seconde est de $2n$, ou le nombre de périodes de n, un moteur bipolaire fait n tours

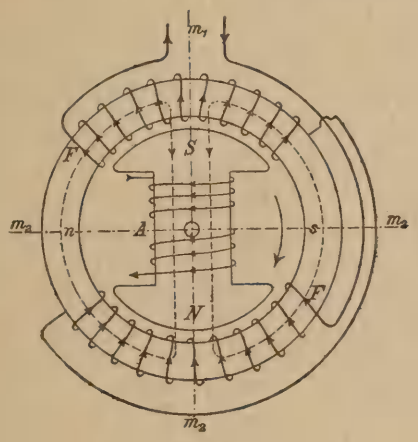


Fig. 1

par seconde, et un moteur de z paires de pôles fait $n : z$ tours.

Le sens de la rotation dans les moteurs synchrones est indéterminé, car ils possèdent un point mort, à partir duquel ils peuvent être mis à tourner soit à droite soit à gauche. Cette position perpendiculaire à $m_1 m_1$, est indiquée dans la figure 2. Quand on cherche à faire dévier l'armature de cette position, elle oscille autour de l'axe $m_2 m_2$ mais ne s'en éloigne pas. Tant que l'armature tourne synchroniquement, le passage dans cette position coïncide avec le changement de sens du courant, de sorte que la réaction du champ sur l'induit est à ce moment nulle. Mais dès qu'une surcharge fait sortir le moteur de sa marche synchronique, cette condition n'est plus remplie, et l'armature se trouve arrêtée. Il en est de même pour les moteurs synchrones à courants polyphasés.

Appelons :

e_1 la force électromotrice efficace du courant alternatif.

$E_1 = e_1 \sqrt{2}$ sa valeur maxima.

i_1 l'intensité de courant efficace.

$I_1 = i_1 \sqrt{2}$ sa valeur maxima.

φ_1 l'angle de décalage entre E_1 et I_1.

L_1 le coefficient de self-induction.

R_1 la résistance des inducteurs.

s_1 leur nombre de spires.

F la surface de tous les pôles de l'armature.

H l'intensité de champ moyenne dans l'entrefer.

$p = 2\pi n$, où n est le nombre de périodes par seconde.

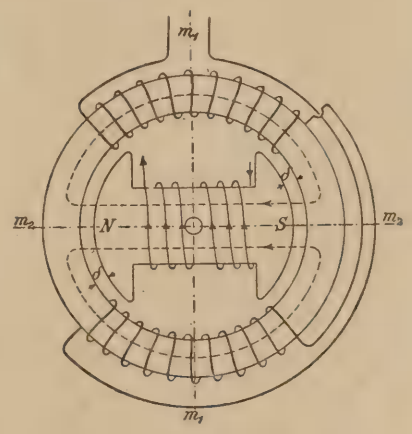


Fig. 2

E_c la force contre-électromotrice.

A_1 la puissance fournie à l'induit.

A_2 la puissance fournie par l'induit.

$g = \frac{A_2}{A_1}$ le rendement du moteur.

La puissance fournie à l'induit est

$$A_1 = \frac{E_1 I_1}{2} \cos \varphi_1 \qquad (1)$$

La force électromotrice E_1 est contrebalancée par trois forces électromotrices qui sont :

1. La force électromotrice de la self-induction, dont la valeur maxima est $= p L_1 I_1$.

2. La force électromotrice dépensée par le courant dans la résistance R_1, qui est $R_1 I_1$.

3. La force électromotrice induite par le champ tournant. Comme le champ H se meut synchroniquement avec le courant I_1, les phases de la force électromotrice appliquée et de la force contre-électromotrice coïncident. La force élec-

tromotrice de la self-induction suit, au contraire, le courant I_1 avec un retard de 90°.

Graphiquement, ces relations peuvent être représentées ainsi. Dans la figure 3, faisons $AB = E_1$, décrivons sur AB comme diamètre un cercle et portons

$$BC = p L_1 I_1$$

comme corde, il faut alors que

$$AC = R_1 I_1 + E_c$$

et

$$\text{angle } BAC = \varphi_1.$$

La puissance communiquée à l'induit est égale au produit du courant par la force contre-électromotrice

$$A_2 = \frac{E_c I_1}{2} \qquad (2)$$

Si H est l'intensité de champ existant pour la charge A_2, on a

$$E_c = F H p s_1; \qquad (3)$$

par conséquent

$$A_2 = \frac{F H p s_1 I}{2}. \qquad (4)$$

Si la résistance R_1 est négligeable, la figure 3 donne les relations

$$I_1 = \frac{\sqrt{E_1^2 - E_c^2}}{p L_1}, \qquad (5)$$

et

$$A_2 = \frac{2 p L_1}{E_c} \sqrt{E_1^2 - E_g^2}. \qquad (6)$$

On peut déterminer L_1 expérimentalement en empêchant l'armature de tourner, car alors sa force contre-électromotrice est nulle.

Si I_0 est le courant amené à l'inducteur pour la tension E_0, on a d'après la figure 3,

$$E_0^2 = p^2 L_1^2 I_0^2 + R_1^2 I_0^2;$$

par suite

$$L_1 = \frac{\sqrt{E_0^2 - R_1^2 I_0^2}}{p I_0}, \qquad (7)$$

ou, en négligeant R_1,

$$L_1 = \frac{E_0}{p I_0}. \qquad (8)$$

Si l'armature ou l'inducteur sont munis de saillies, la valeur de L_1 dépend de la position relative de l'inducteur par rapport à l'induit.

A l'aide des équations (3), (7) et (8) on peut, quand E_1 est donné, tirer A_2 de l'équation (6).

La puissance fournie à l'induit est

$$A_1 = \frac{(R_1 I_1 + E_c) I_1}{2} = \frac{E_1 I_1}{2} \cos \varphi_1.$$

Le rendement est

$$g = \frac{A_2}{A_1} = \frac{E_c}{R_1 I_1 + E_c}. \qquad (9)$$

Comme avec le courant continu, le rendement est un rapport de deux forces électromotrices.

Les pertes par hystérésis, courants de Foucault, et par l'excitation des inducteurs n'ont pas été considérées ici.

Le décalage entre E_1 et I_1 est un maximum quand $E_c = 0$, c'est-à-dire quand l'induit est au

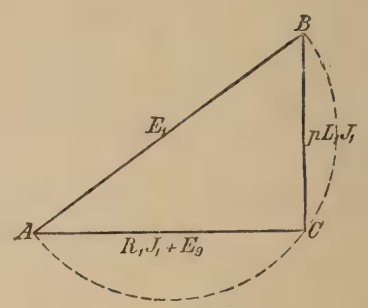


Fig. 3

repos. Plus la force contre-électromotrice est élevée, plus l'angle φ_1 est petit; si le moteur ne produit pas de travail extérieur et si son induit tourne synchroniquement avec le champ, E_c prend sa valeur maxima en même temps que I_1 est minimum, comme le montre l'équation (5).

La puissance A_2 est maxima quand, comme l'indique (6), l'expression

$$E_c \sqrt{E_1^2 - E_c^2}$$

est maxima. Ce maximum a lieu pour

$$E_c = \frac{E_1}{\sqrt{2}}, \qquad (10)$$

c'est-à-dire : la puissance utile A_2 est maxima, quand la force contre-électromotrice est égale à $\frac{1}{\sqrt{2}}$ fois la force électromotrice appliquée,

$$A_{2\,max} = \frac{E_1^2}{4 p L_1} \qquad (11)$$

Le couple de rotation D de l'armature est

$$D = \frac{A_2}{w},$$

w étant la vitesse angulaire. Pour une disposition bipolaire, on a $w = p$, et

$$D = \frac{E\,c}{p^2\,L}\sqrt{E_1^2 - E_2^2}. \qquad (12)$$

Le couple de rotation est donc inversement proportionnel au carré de la fréquence et au coefficient de self-induction. Ceci indique qu'il est bon d'employer de basses fréquences pour les moteurs à courants alternatifs.

On obtient les mêmes résultats pour des moteurs à courants polyphasés. Si nous avons en général m courants alternatifs d'égale intensité maxima et d'une différence de phase de $\frac{\pi}{2n}$, les formules ci-dessus sont applicables pour chaque phase. On a, en effet,

$$A_2 = \frac{m}{2}\,P'\,H\,p\,s\,I, \qquad (13)$$

ou

$$A_2 = \frac{m}{2\,p\,L}\,E_c\sqrt{E_1^2 - E_c^2},$$

$$I = \frac{\sqrt{E_1^2 - E_c^2}}{p\,L}. \qquad (14)$$

Les valeurs I, E, L se rapportent aux différentes phases.

A. H

Accumulateur Griscom (1892).

Les plaques A, en plomb comprimé, sont grillagés de barreaux C, de 1/2 millimètre d'épaisseur. On commence par bouillir ces plaques dans une dissolution à 2 o/o de nitrate d'ammoniaque qui les crible de piqûres d'environ 1/2 millimètre de profondeur, dans lesquelles on passe la matière sensible : plomb ou oxyde de plomb adhésif finement divisé.

On forme ensuite ces plaques par le procédé Planté, en les plongeant dans un bain acidulé d'acide sulfurique et en les reliant au pôle positif d'une batterie ou d'une dynamo.

Pendant le service de l'accumulateur, les lamelles C ne tardent pas à se transformer en une masse active spongieuse maintenue dans leurs cadres comme la matière ajoutée dans le procédé Faure, de sorte que cette plaque, formée d'abord comme une plaque de Planté, peut, après un certain usage et une désagrégation partielle de ses lames, être utilisée comme une plaque Faure

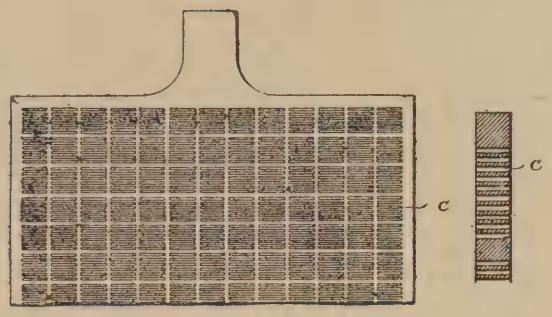


Fig. 1 et 2. — Accumulateur Griscom.

dont la matière active n'aurait pas été déposée mécaniquement, et serait traversée par une foule de linéaments conducteurs, débris des lamelles C.

G. R.

REVUE DES TRAVAUX

RÉCENTS EN ÉLECTRICITÉ

Recherches expérimentales sur les transformateurs à courants alternatifs, par M. J.-A. Fleming (1).

Transformateur Thomson-Houston, 4500 *watts*.

Tableaux XXIII et XXIV, figure 35.

Ce transformateur est un bon exemple d'un tranformateur à circuit magnétique fermé, de petites dimensions et de grand rendement. Au dixième de la pleine charge, le rendement est de 79,1 o/o. La perte à circuit ouvert n'est que de 1,6 o/o de la puissance maxima.

Transformateur Kapp, 4000 *watts*.

Tableaux XXV et XXVI, figure 39.

Ce transformateur présente une très bonne régulation. Sa chute de potentiel secondaire est inférieure à 2 o/o du voltage secondaire à circuit ouvert, et sa perte à circuit ouvert est de 2,8 o/o de la puissance maxima. Cet appareil est curieux par l'augmentation très lente du

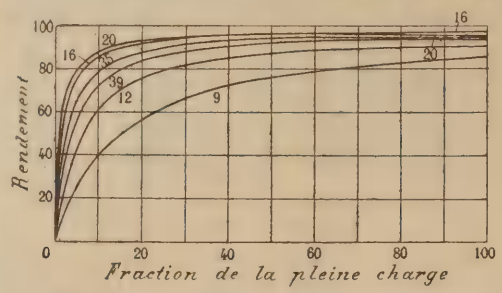
(1) *La Lumière Electrique* du 25 février, p. 387.

facteur de puissance à mesure que le débit augmente. La bonne régulation et la faible chute de potentiel sont dues ici à ce que les deux enroulements sont intimement mélangés.

Transformateur Swinburne « hérisson » 3000 watts.

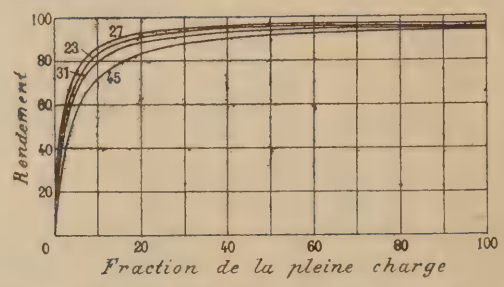
Tableaux XXVII, XXVIII et XXIX, figures 42, 43, 44 et 45.

Enfin, il y a plusieurs remarques à faire sur



Courbes du rendement de divers transformateurs.
9. Ferranti, 5 chevaux (type 1885). 12. Ferranti reconstruitt). 16. Westinghouse, 65 000 watts 20 Fetranti, 15 chevaux (type 1892). 35. Tomson-Houston, 4500 watts. 39. Kapp, 4000.

le transformateur « hérisson » de M. Swinburne. L'essai d'un transformateur de ce genre est rempli de difficultés; nous avons dû faire sur cet appareil plusieurs centaines d'observations. Les tableaux XXVII, XXVIII et XXIX donnent



Courbes du rendement de divers transformateurs.
23. Ferranti, 15 chevaux, reconstruit (type 1892). 27. Ferranti, 20 chevaux (type 1892). 31. Mordey, 6000 watts. 45. Swinburne, 3000 watts (« hedgehog »).

les résultats des meilleures séries d'observations avec le wattmètre. La moyenne d'un grand nombre d'observations sur la puissance absorbée à vide nous a fourni une valeur d'environ 114 watts. Nous avons déjà vu que la moyenne obtenue par les méthodes des ampèremètres et des voltmètres avait donné un nombre analogue. Sept séries d'observations à l'aide du dynamomètre à des fréquences très peu différentes avaient donné 114, 108, 108, 114, 114, 121 et 121 watts. La moyenne de 62 observations par trois méthodes différentes donne donc 112 watts pour la puissance absorbée à vide par ce transformateur « hérisson » de 3000 watts.

Le noyau de ce transformateur est formé de fils de fer doux de 46 centimètres de longueur et 2,35 centimètres de diamètre. Le volume total de fil de fer est d'environ 856 centimètres cubes, et le poids de 5982 grammes. L'induction au centre du noyau est d'environ 10000 unités

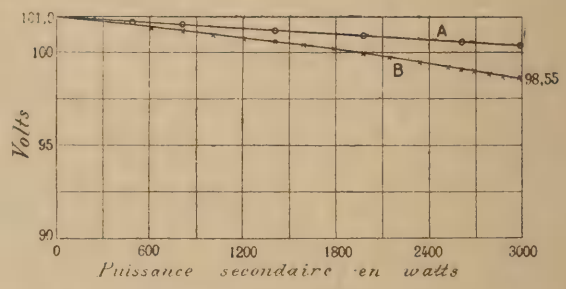


Fig. 43. — Transformateur Swinburne de 3000 watts; chute de potentiel sur le secondaire.
A, chute due à la résistance secondaire; B, chute totale.

C. G. S. Il est certain qu'avec une telle subdivision du fer, la perte par courants de Foucault dans le fer doit être faible, et j'estime qu'elle ne doit pas dépasser 10 ou 15 watts à la fréquence employée. De même, la perte par hystérésis ne

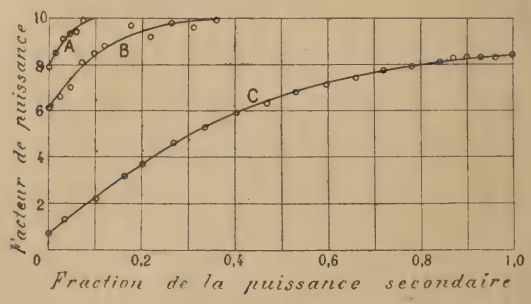


Fig. 46. — Relation entre le facteur de puissance et le débit.
A, transformateur Westinghouse; B, transformateur Kapp; C, transformateur Swinburne.

peut pas être beaucoup plus considérable que 20 ou 30 watts. En général, un watt par 30 centimètres cubes du noyau semble être la valeur de la perte dans le fer des petits transformateurs.

Comment se fait-il alors que les mesures nous ont donné une perte d'environ 112 watts à charge nulle? La réponse à cette question est,

d'après moi, qu'il peut y avoir une grande perte par courants de Foucault dans le cuivre du circuit secondaire. Dans ce transformateur, le circuit secondaire est d'abord enroulé sur le noyau, puis il est recouvert par le circuit primaire. Les lignes de force quittant le noyau y retournent par l'espace extérieur et doivent donc couper le cuivre des enroulements. A chaque inversion de l'induction, il se forme des courants de Foucault dans la masse du cuivre; et cela a lieu aussi bien à pleine charge qu'à vide. L'unique moyen pour obvier à cet inconvénient est de constituer le circuit secondaire par des fils câblés, chaque fil étant de faible diamètre et légèrement isolé.

Il est évident que cette perte doit avoir une certaine valeur et qu'elle constitue un défaut du transformateur à circuit magnétique ouvert. Nous pouvons considérer que la fonction du noyau de fer d'un transformateur est de maintenir les lignes de force dans l'espace qui leur est assigné, en les faisant passer à l'intérieur de

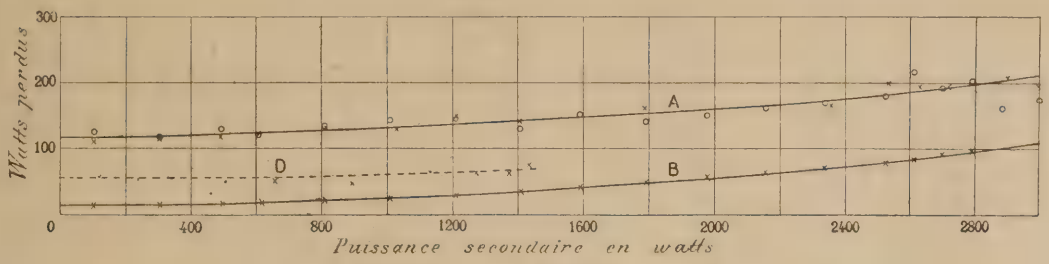


Fig. 42. — Transformateur Swinburne de 3000 watts.
A, pertes totales; B, pertes RI^2 totales; D, pertes totales par le wattmètre Swinburne.

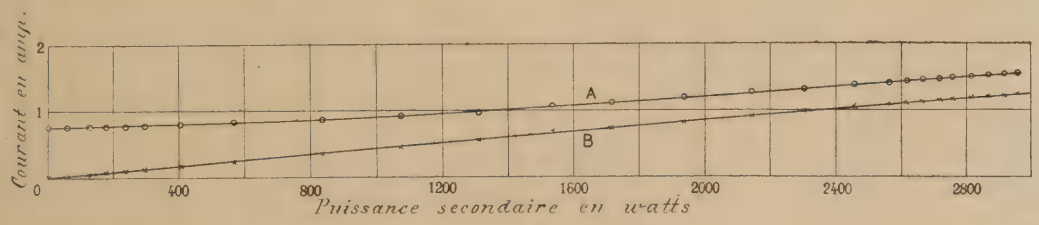


Fig. 44. — Transformateur Swinburne de 3000 watts.
A, courant primaire; B, $\frac{1}{24}$ du courant secondaire.

l'enroulement secondaire sans couper la masse du cuivre dans ce circuit.

J'ai proposé à M. Swinburne d'obtenir une preuve convaincante de l'exactitude ou de l'inexactitude de cette manière de voir en enroulant un transformateur similaire avec un circuit secondaire formé d'un câble. Si l'on essayait un transformateur de ce genre avec le circuit primaire seulement, on trouverait vraisemblablement une absorption d'énergie beaucoup plus faible. Les constructeurs n'ont pas encore pu effectuer la modification demandée. Il serait très intéressant de l'essayer. En tout cas, il me semble clair que le « hérisson » essayé par nous donne lieu à une grande perte par courants de Foucault. Je me permettrai donc de suggérer à M. Swinburne de diriger son attention sur la suppression de cette perte dans le cuivre.

Si nous comparons la courbe du rendement de ce transformateur avec celles des transformateurs à circuit magnétique fermé, nous voyons que le circuit magnétique ouvert ne présente pas d'avantages aux faibles charges. Ce « hérisson » a un rendement d'environ 73 o/o à un dixième de la charge maxima, et 94 ou 95 o/o à pleine charge.

Un transformateur à circuit magnétique fermé convenablement construit peut donner des résultats aussi bons, même meilleurs, comme le montrent les courbes de rendement des appareils Kapp ou Thomson-Houston. Toutefois, si l'on peut supprimer la perte par courants de

Foucault dans le cuivre, et si le courant d'excitation très intense est fourni par des condensateurs, les transformateurs à circuit magnétique ouvert pourront peut-être donner de meilleurs rendements aux faibles charges que ceux à circuit magnétique fermé de même capacité.

V. — Observations générales sur les expériences.

14. En examinant tous ces diagrammes, qui donnent les courbes de la perte totale et de la perte dans le cuivre, nous trouvons que dans chaque cas la courbe supérieure reste *sensiblement parallèle* à la courbe inférieure. Dans les courbes pour les transformateurs à circuit magnétique fermé de bonne construction, la différence entre la perte RI^2 et les pertes totales de toute espèce est la perte dans le noyau de fer. Nous voyons donc que toutes les expériences conduisent à la conclusion que *les pertes dans le fer sont constantes à toutes les charges*. Dans aucun cas nous n'avons observé que cette perte dans le fer disparaissait à pleine charge, comme le prétend M. Mordey. Nos méthodes, appliquées au transformateur Mordey de 6000 watts, donnant le même résultat à charge nulle que celui obtenu par M. Mordey, il est intéressant de rechercher pourquoi la méthode calorimétrique qu'il a employée semble indiquer qu'à pleine charge toute la perte est attribuable au cuivre. Pour le moment nous ne trouvons aucune explication de cette particularité. Les observations décrites plus haut ont toutes été faites avant la publication du mémoire de MM. Ayrton et Sumpner, et il est intéressant de constater que leur méthode a conduit précisément à la même conclusion. Nous avons donc de bonnes raisons pour penser que la courbe de la perte totale intérieure d'un transformateur peut être tracée si l'on connaît la perte RI^2 et la perte dans le fer à charge nulle.

Il est très difficile de trouver une supposition vraisemblable qui permette de conclure que la perte par hystérésis doit être moindre à pleine charge qu'à vide. La seule différence dans les conditions magnétiques est que dans un des cas le fer est aimanté par un courant peu intense agissant dans un sens, et dans l'autre cas par la différence entre deux courants agissant en sens opposés, mais soumis à la condition que la somme des ampères-tours reste la même. Dans une expérience spéciale, j'ai pris le diagramme de l'hystérésis pour un fil de fer doux en employant une force magnétisante de 100 ampères-tours, produite dans un cas par 2,5 ampères et 400 tours, dans l'autre par 20 ampères et 50 tours. Les surfaces des courbes d'hystérésis dans les deux cas étaient les mêmes. Je rappellerai que ce résultat a été obtenu par le professeur Ewing.

15. Nos mesures ont aussi démontré un autre fait intéressant. Dans les tableaux on trouvera pour chaque transformateur une colonne intitulée « facteur de charge ». Nous avons déjà défini ce terme comme le rapport des « watts réels » aux « watts apparents », ou au produit des ampères efficaces par les volts efficaces. Nous voyons immédiatement que pour les transformateurs à circuit magnétique fermé de bonne construction, tels que le Mordey, le Westinghouse, le Ferranti, etc. le facteur de charge à puissance secondaire nulle est au début d'environ 0,8. Pour ces transformateurs, il suffit néanmoins de charger légèrement le secondaire pour amener ce facteur à l'unité. La figure 46 donne trois courbes montrant l'augmentation du facteur de charge à mesure que la charge du secondaire augmente. La courbe supérieure représente l'augmentation de ce facteur pour le tranforma-Westinghouse de 6505 watts. Débutant à 0,8, il s'élève jusqu'à 1 au dixième environ de la charge maximum. A partir de ce point, la puissance réelle qui est alors donnée exactement par le produit de la différence de potentiel primaire efficace par le courant primaire efficace.

Pour un transformateur à circuit magnétique ouvert comme le « hérisson » le cas est tout différent. Le facteur de charge débute à 0,08 ou 0,06 et ne dépasse jamais 0,8. A aucun moment de la charge, la puissance réelle absorbée par le transformateur n'est donc égale à la puissance apparente. Un transformateur comme le modèle Kapp, de 4000 watts, semble occuper une position intermédiaire.

L'importance de ce fait dans le fonctionnement des stations à courants alternatifs est très considérable. Il nous montre que si la station travaille sur des transformateurs des types Mordey, Westinghouse, Thomson-Houston, Ferranti, etc., la puissance apparente est la puissance réelle pendant que tous les transforma-

teurs fonctionnent à une puissance supérieure au dixième de la charge maxima. Si, au contraire, la station est munie de transformateurs « hérisson », ou de ce musée de transformateurs de toute espèce dont les directions de stations centrales aiment à faire collection, nous pouvons admettre qu'à aucun moment la puissance apparente n'est équivalente à la puissance réelle. Naturellement, si l'on se sert de câbles concentriques une autre cause d'erreur intervient. En prenant le cas d'une station munie de transformateurs à circuit magnétique fermé toujours moyennement chargés, je crois qu'en déduisant 12 à 15 o/o de la puissance apparente, on peut considérer le reste comme représentant la puissance réelle consommée sur le réseau.

16. En considérant les courbes donnant les courants primaires et secondaires pour chaque transformateur, nous remarquons que ces courbes, construites en fonction de la puissance débité, sont à peu près des lignes droites. Dans le cas des transformateurs à circuit magnétique fermé et à grand facteur de charge la différence entre ces valeurs des courants est constante.

Puisque les deux enroulements de ces transformateurs se trouvent dans le rapport 24 à 1, il est évident que les ordonnées de ces courbes peuvent aussi représenter les nombres d'ampère-tours primaire et secondaire, en remarquant que la courbe du secondaire est tracée avec 1/24 des valeurs réelles. En prenant dans les tableaux les différences entre le courant primaire et 1/24 du courant secondaire, nous trouvons que cette différence est sensiblement égale au courant primaire à charge nulle, ou au courant d'excitation. C'est une autre façon de montrer que les ampères-tours résultants sont les mêmes à toutes les charges. Ceci n'a lieu que pour les transformateurs à grand facteur de charge. Pour les autres la différence entre les ampères-tours primaires et secondaires va en diminuant à mesure que la charge augmente. Cela est probablement dû à la variation continuelle de la différence de phase entre les courants primaire et secondaire; tandis que dans le circuit magnétique fermé, après les premières valeurs de la charge, les courants primaires et secondaires sont presque en opposition en ce qui concerne la phase.

Nous avons aussi tracé pour chaque transformateur des courbes montrant la chute de potentiel secondaire totale en volts être la charge nulle et toutes les autres charges. Considérons le cas de la pleine charge. La différence de potentiel aux bornes du secondaire est moindre qu'à circuit ouvert; la tension primaire étant toujours maintenue constante. La différence entre ces voltages du secondaire est la « chute du potentiel secondaire totale ». Une partie de cette chute due aux volts perdus dans la résistance du secondaire, une autre partie dans la résistance du primaire, le reste est la chute due aux dérivations magnétiques. Les relations entre ces diverses parties de la chute de potentiel totales peuvent être examinés comme suit pour un transformateur à circuit magnétique fermé :

Soit v_1 la valeur instantanée de la différence de potentiel primaire, v_2 la même valeur pour le circuit secondaire. Soient i_1 et i_2 les valeurs instantanées des courants, R et S les résistances du primaire et du secondaire, et N_1 et N_2 les nombres de tours de fils primaires et secondaires. Appelons ensuite b_1 l'induction au centre de la bobine primaire, b_2 celle dans le secondaire, et b la densité des dérivations magnétiques. Si A est la constante du circuit magnétique, $A b_2$ le flux à travers la bobine secondaire, et $A b$ le flux dérivé. Alors

$$A b_1 = A b_2 + A b. \tag{1}$$

Les équations fondamentales sont

$$v_1 = R i + A N_1 \frac{d b_1}{d t}$$

et (2)

$$0 = S i_2 + v_2 + A N_2 \frac{d b_2}{d t}.$$

Donc, en écrivant a pour $\frac{N_1}{N_2}$, nous obtenons, en éliminant b_1 et b_2 entre (1) et (2);

$$\frac{v_1}{a} + v_2 + S i_2 - R \frac{i_1}{a} + A N_2 \frac{d b}{d t}. \tag{3}$$

Si $v_1 = V_1 \sin p t$, on a $v_2 = - \sin p t$, parce que les potentiels primaire et secondaire sont en opposition quant aux phases. Nous pouvons aussi écrire $i_1 = I_1 \sin p t$ et $i_2 = I_2 \sin p t$, à tous les degrés de la charge secondaire, puisque les courants primaire et secondaire sont en opposition, et, que le courant primaire est en synchronisme avec la différence de potentiel primaire à toutes les charges supérieures au dixième de la puissance maximum.

Nous avons aussi $b = -B \sin pt$, parce que le flux dérivé est déterminé par le courant secondaire. Nous arrivons donc, en substituant dans (3) à l'équation

$$\left(\frac{V_1}{a} - V_2 - S I_2 - \frac{R}{a} I_1\right) \sin pt = -A N_2 B p \cos pt. \quad (4)$$

La quantité $A N_2 p B \cos pt$ est la valeur instantanée des volts perdus par les dérivations. Donc en prenant des deux côtés la valeur efficace, et en affectant les lettres d'un indice pour indiquer qu'elles représentent maintenant les valeurs des courants et des tensions tels que les mesurent les ampèremètres et voltmètres, nous obtenons

$$\left(\frac{1}{a} V'_1 - V'_2\right) - \left(S I'_2 + \frac{1}{a} R I'_1\right) = A N_2 p B$$

Puisque $\frac{1}{a} V'_1$ est la valeur de la tension secondaire à circuit ouvert, et V'_2 la tension à pleine charge, le premier terme entre parenthèses est la « chute de potentiel totale ». Le second terme entre parenthèses est la somme des chutes de potentiel dues au cuivre dans les deux circuits; enfin, le nombre de droite de l'équation est la chute due aux déviations magnétiques.

Donc, pour un transformateur à circuit magnétique fermé avec des enroulements dans le rapport 24 à 1, par exemple, nous avons la règle suivante pour obtenir les volts perdus par dérivation magnétique à pleine charge :

Ajoutez le produit de la résistance secondaire par l'intensité du courant secondaire à la 24e partie du produit correspondant pour le primaire, et retranchez cette somme de la chute de potentiel totale observée.

En examinant de cette façon nos transformateurs, nous voyons que dans ceux analogues au Westinghouse la moitié de la chute totale est due aux fuites magnétiques; tandis que dans d'autres, comme le transformateur Kapp, les fuites magnétiques sont très faibles. Cela est dû sans doute à ce que les spires primaires y sont intercalées entre les tours de fil secondaires.

D'après ce que nous venons de voir, il est évident qu'en connaissant certaines données, il est possible de prédéterminer toutes ces courbes pour un transformateur à circuit magnétique fermé. Si nous nous donnons :

a) Le voltage primaire;

b) Le courant d'excitation;

c) Les résistances primaire et secondaire;

d) Le voltage secondaire, et le courant secondaire correspondant à différentes charges.

Nous pouvons déterminer la courbe du rendement et tous les autres nombres intéressants.

Le produit de (*a*) par (*b*) nous donne les watts apparents à charge nulle; en prenant 0,8 de cette valeur nous avons la perte dans le noyau à toutes les charges. Le rapport du voltage primaire au secondaire à vide, les courants secondaires et le primaire d'excitation permettent de calculer toutes les valeurs du courant primaire, de sorte que nous pouvons obtenir les pertes RI^2 aux différentes charges. Toutes les pertes étant ainsi déterminées nous pouvons en tirer la courbe du rendement.

A. H.

(*A suivre*).

Congrès des électriciens à Chicago en 1893.

Le sous-comité nommé par l'*American Institute of Electrical Engineers* en vue de préparer le programme des travaux du Congrès international des électriciens qui se tiendra cette année à Chicago vient de publier le programme provisoire qu'il a élaboré; les membres de cette commission demandent qu'il soit discuté avant l'ouverture du Congrès, afin qu'on puisse dresser un programme définitif. Nous le reproduisons donc en entier, ainsi que celui des électriciens anglais.

AMERICAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS

RATIFICATIONS.

1. *Ratification des unités, termes, symboles et définitions adoptés par les précédents congrès internationaux.*

C'est une simple question de forme et un acte de courtoisie à l'égard des Congrès précédents; on agit de même aux Congrès de Paris, en 1889, et de Francfort, en 1891.

UNITÉS NOUVELLES.

2. *Définir et adopter les unités pratiques pour mesurer et nommer les unités de mesure des quan-*

tités suivantes : force magnétomotrice, flux magnétique, intensité magnétique, reluctance magnétique, conductibilité électrique, éclairement.

On notera qu'il est question seulement de décider quelle sera la grandeur des unités ou, en d'autres termes, quels multiples ou sous-multiples des unités absolues seront adoptés.

Des objections ont été soulevées par quelques-uns au sujet de l'établissement d'unités dont l'emploi n'est pas encore général. Cependant, l'expérience acquise a montré que le temps propice pour établir des unités est celui qui précède le moment où leur nécessité est universellement ressentie. On évite ainsi l'introduction d'unités de différentes valeurs par des personnes ou des nations différentes, éventualité qui ne peut être évitée que par une action commune anticipée.

On recommande les unités suivantes :

La valeur de l'unité pratique de force magnétomotrice sera égale à 1/10 d'unité absolue, soit, à $\frac{1}{4\pi}$ ampère-tour.

La valeur de l'unité pratique de flux magnétique sera égale à 10^8 unités absolues ou lignes.

La valeur de l'unité pratique d'intensité magnétique sera égale à 10^8 unités absolues, c'est-à-dire à 10^8 lignes par centimètre carré.

La valeur de l'unité pratique de reluctance sera égale à 10^9 unités absolues.

La valeur de l'unité pratique de conductibilité électrique sera égale à 10^{-9} unités absolues, c'est-à-dire à la réciproque de l'ohm. Cette valeur est égale à celle de l'unité proposée il y a quelque temps, et connue jusqu'à un certain point sous le nom de « mho ». On adopterait cette valeur de façon qu'elle corresponde avec les unités déjà adoptées.

La valeur de l'unité pratique d'éclairement sera égale à l'éclairement d'une bougie décimale à la distance de un mètre. La bougie décimale est l'unité de lumière déjà adoptée; elle est pratiquement égale à une bougie étalon anglaise; en adoptant la distance de un mètre, l'unité pratique sera approximativement égale à 1/10 de carcel-mètre, à 1/10 de bougie-pied (ou « lux »), ou à une bougie-mètre, ou à un mètre-kerze, trois unités qui sont déjà employées dans une certaine mesure.

Il a été annoncé qu'on ferait à ce Congrès une proposition en vue de changer les valeurs de quelques-unes des unités pratiques qui ont été adoptées par les Congrès précédents, et sont déjà d'un usage universel. Parmi ces unités, on signale l'ampère et le farad. On recommande instamment de ne pas favoriser de tels changements, car il en résulterait nécessairement une grande confusion et il faudrait inévitablement les accompagner par des changements correspondants de ces noms bien connus afin de distinguer les nouvelles unités de celles qui existent actuellement.

NOMS D'UNITÉS

3. *Adopter des noms pour les unités pratiques suivantes : force magnétomotrice, flux magnétique, intensité magnétique, reluctance magnétique, inductance, conductibilité électrique, éclairement.*

On propose les noms suivants :

Pour l'unité pratique de force magnétomotrice, le nom de « Gilbert »;

Pour l'unité pratique de flux magnétique, le nom de « Weber ». Ce terme a été anciennement appliqué à une unité d'intensité, mais son usage dans ce sens a été si limité et il est depuis si longtemps abandonné qu'aucune confusion ne pourra se produire; le sujet seul sera toujours suffisant pour éviter toute possibilité de confusion. Le nom de « Weber » a été préféré en raison de la relation intime qui existe entre cette unité et celle d'intensité magnétique pour laquelle on propose le nom de « Gauss ».

Pour l'unité pratique d'intensité magnétique, le nom de « Gauss ». Ce nom a déjà été tellement employé qu'il est peu probable qu'on soulève des objections.

Pour l'unité pratique de reluctance magnétique le nom de « Œrsted ».

Pour l'unité pratique d'inductance, le nom de « Henry ». Ce nom est aujourd'hui généralement adopté et il est à désirer qu'il ne soit pas changé. La valeur de cette unité a déjà été fixée; elle est égale à 10^9 unités absolues, ou à peu près à la longueur d'un quadrant terrestre. La définition « quadrant » est quelquefois employée comme nom, mais son usage dans ce sens est évidemment sujette à objections, car elle a déjà plusieurs autres significations qui pourraient conduire rapidement à des confusions.

Pour l'unité pratique de conductibilité électrique, égale à la réciproque de l'ohm, le nom de « mho ». Ce nom a été employé depuis quelque temps et est déjà bien connu. On pense qu'il vaut mieux le prôner que d'en choisir et d'en introduire un nouveau.

Pour l'unité pratique d'éclairement définie ci-dessus, le nom de « bougie-mètre ».

On a proposé de donner des noms aux unités « kilowatt-heure » et « ampère-heure ». Cependant, comme ces termes s'expliquent d'eux-mêmes et ne sont pas plus longs que quelques autres en usage, on pense que de leur donner des noms nouveaux compliquerait sans nécessité la nomenclature. Les objections principales au vocable « Board of Trade unit », qui est adopté en Angleterre pour le premier, sont que ce mot ne pourrait jamais devenir international, qu'il est plus long d'une syllable que le mot « kilowatt-heure » et qu'il y a maintenant, ou qu'il y aura bientôt des unités d'autres dénominations adoptées par le même Board of Trade, dont il faudrait le distinguer par un préfixe ou un suffixe additionnel.

ÉTALONS MATÉRIELS.

4. *Définir et adopter des moyens de matérialiser les principales unités suivantes de mesure en étalons concrets susceptibles d'être rapidement reproduits et d'adopter pour ceux-ci ou pour les unités théoriques des noms au moyen desquels ils pourraient être distingués les uns des autres : ampère, ohm, volt, watt, bougie étalon.*

On recommande les définitions suivantes de ces unités.

Un ampère sera le courant constant qui, traversant une solution de nitrate d'argent et d'eau, préparée suivant les spécifications recommandées dans le récent rapport du British Board of Trade, déposera l'argent à raison de 0,001118 gr. par seconde.

Un ohm sera la résistance offerte par une colonne de mercure à la température de la glace fondante, d'une masse de 14,4521 gr., d'une section transversale constante et d'une longueur de 106,3 cm. On recommande que des étalons matériels de cette valeur, construits en métal solide, soient conservés par les soins de plusieurs gouvernements comme étalons de comparaison, et qu'ils soient vérifiés de temps en temps par comparaison avec l'étalon mercuriel défini ci-dessus; aussi, que pour remplacer l'étalon au cas où il viendrait à être perdu, détruit ou détérioré, et pour l'usage ordinaire, un nombre limité de copies soient construites et comparées périodiquement avec l'ohm-étalon.

Un volt sera le produit de cet ampère par cet ohm.

Un watt sera le produit du carré de cet ampère par cet ohm.

Les autres unités, telles que le coulomb, le farad et le joule, seront prises comme dérivées en fonction de cet ampère et de cet ohm.

Afin de créer aussi peu de confusion que possible par l'introduction de cette série d'unités qui sont destinées à devenir les étalons universels, et afin de les distinguer facilement des unités vraies ou abstraites définies en fonction des unités absolues, on recommande d'appeler les premières simplement « ampère », « ohm », « volt », etc., ou plus spécialement « ampère étalon », « ohm étalon », etc., et d'appeler les unités théoriques « vrai ampère », « vrai ohm », etc. Ces derniers termes sont déjà employés dans ce sens.

L'unité de résistance connue sous le nom de « B. A. unit », sera prise comme étant égale à 0,9866 de cet ohm.

La force électromotrice à la température de 15° C. de l'élément Clark préparé suivant la spécification recommandée dans le récent rapport du British Board of Trade sera prise comme ne différant pas de 1,434 de ces volts, de plus de 1 pour 1000. Le coefficient de température sera pris comme étant égal à .....?

La bougie étalon sera prise comme étant égale à la lumière d'une lampe comme celle connue sous le nom de lampe étalon Hefner-Alteneck, à l'acétate d'amyle, qui est définie par ses dimensions et la hauteur de la flamme, les dimensions étant telles que la lumière soit égale à celle de la « bougie décimale », unité pratique adoptée par le Congrès de Paris, en 1889, et qui est égale à 1/20 de l'étalon absolu de platine adopté en 1884.

On propose aussi de définir et d'adopter une jauge universelle pour les fils. Comme il paraît à première vue, il est désirable qu'aucune action ne soit prise par le Congrès à ce sujet, car il n'est pas certain qu'une même échelle serait universellement adoptée par les constructeurs, même

si elle était définie et adoptée par un Congrès. On pense que l'introduction universelle du système métrique et la désignation des fils par leur diamètre en millimètre, serait la seule solution satisfaisante de cette question pour le travail international.

NOTATIONS ET SYMBOLES

5. — *Adopter un système international de notations et de symboles conventionnels pour désigner les différentes quantités.*

DÉFINITIONS

6. — *Définir les termes suivants : force électromotrice appliquée, inductivité, inductance, réluctivité, étalon Matthiessen, pôle nord et pôle sud.*

On propose les définitions suivantes :

La force électromotrice appliquée est le rapport de la puissance totale dans un circuit conducteur électrique à la valeur instantanée de l'intensité du courant.

L'inductivité en un point quelconque dans un milieu isotrope est le rapport augmenté d'une unité, de 4π fois l'intensité de l'aimantation y existant, à la densité du flux magnétisant. Inductivité est synonyme de « perméabilité ».

L'équation de dimensions dans le système électrodynamique est $L^0 M^0 T^0$, le symbole conventionnel est μ.

Inductance. — *a)* La self-inductance est le quotient de l'induction magnétique totale embrassée et établie par un courant électrique par l'intensité uniforme de celui-ci. L'inductance d'un circuit conducteur est constante lorsque le milieu environnant a une inductivité constante.

b) L'inductance mutuelle d'un circuit électrique sur un autre est le quotient de l'induction magnétique totale embrassée par le second, due à un courant uniforme traversant le premier, par l'intensité de ce courant. L'inductance mutuelle entre deux circuits électriques est réciproquement égale lorsque le milieu environnant a une inductivité constante. L'équation de dimensions dans le système électromagnétique est $L^1 M^0 T^0$. L'unité absolue est un centimètre. L'unité pratique est un henry.

La réluctivité d'un milieu en un point quelconque est la dérivée de la réluctance par rapport au volume. Définition simple : La réluctivité est la réluctance par unité de volume. L'équation de dimensions dans le système électromagnétique est $L^0 M^0 T^0$. L'unité absolue est une unité C. G. S. de réluctance par centimètre cube. L'unité pratique proposée est la même, soit environ un œrsted par quadrant cubique terrestre.

La résistance du cuivre connu sous le nom d'étalon Matthiessen sera définie comme suit : La résistance d'un fil de cuivre doux de 1 millimètre de long, pesant 1 gramme est égale à 0,14365 B. A. U. à 0° C. Cette définition est recommandée par le comité de l'American Institute of Electrical Engineers, sur l'étalon Matthiessen. Les raisons de ce choix sont données dans ce rapport.

Le pôle nord d'un aimant doit être défini : « Celui qui cherche le pôle nord géographique », et le pôle sud : « Celui qui cherche le pôle sud géographique. » C'est la définition généralement adoptée.

EXPRESSIONS

7. — *Définir et adopter des expressions : pour les courants alternatifs de plus d'une phase ; pour décrire les phénomènes des courants alternatifs et des ondes électromagnétiques.*

On recommande d'adopter les expressions suivantes :

Courants alternatifs « simples » pour les courants alternatifs ordinaires dans lesquels il n'y a pratiquement qu'une phase ; courants alternatifs « diphasés » pour deux courants alternatifs dont les phases diffèrent, en temps, de 90° ou 270° ; courants alternatifs « triphasés » pour trois courants alternatifs dont les phases diffèrent en temps de 60° ou 120° ; courants alternatifs « polyphasés » pour tous ceux qui ont plus de trois phases.

Pour décrire les phénomènes des courants alternatifs et des ondes électromagnétiques, le comité demande qu'on lui soumette des expressions.

EMPLOI UNIVERSEL

8. — *Recommander l'emploi universel autant que possible :*

Du terme *voltage* comme synonyme de différence de potentiel électrique », ou D. P. au lieu des termes« potentiel, tension ou pression »,

dont l'emploi dans ce sens devrait être abandonné;

Du terme *transformateur* au lieu de « convertisseur »;

Du terme *dynamoteur* pour un transformateur à courant continu;

Du terme *courant continu* au lieu de « courant direct »;

Du terme *kilowatt* au lieu de « cheval-vapeur »;

Du système métrique de poids et mesures : soumettre les moyens par lesquels son introduction pourra être facilitée.

PROGRAMME

En ce qui concerne le programme pour effectuer ce travail de la façon la plus satisfaisante pour toutes les parties, et avec la moindre perte de temps, le comité recommande et suggère ce qui suit :

On ne saurait trop rappeler qu'un Congrès international est un lieu où doit se clore et non s'ouvrir une discussion sur les questions qui nécessitent une entente internationale; on recommande donc instamment que la discussion commence de suite afin que les opinions puissent s'affirmer et, si possible, l'entente se faire avant la réunion du Congrès. Dans ce but, le comité recommande que les propositions résumées dans ce rapport, ou celles d'entre elles qui seront désignées, soient imprimées et envoyées à toutes les principales sociétés d'électricité et de physique, ainsi qu'aux journaux d'Amérique et de l'étranger, en les priant d'aider ce travail en les rendant publiques, en les discutant librement et en adressant des comptes rendus de ces discussions, ainsi que de nouvelles propositions, au secrétaire du comité du Congrès, 12, West, Thirty first street, New-York; qu'un sous-comité prépare de temps en temps un sommaire raisonné de ces discussions pour en envoyer copie aux principaux journaux d'électricité et de physique d'Amérique et de l'étranger, et qu'il présente au Congrès un sommaire final de cette discussion internationale. Cette discussion doit être close le 1er juillet 1893.

On recommande aussi que cet *Institute* invite les autres sociétés à coopérer avec lui, en nommant des comités spéciaux pour discuter et faire un rapport à leurs sociétés respectives sur ces questions internationales, et publier leurs conclusions dans les journaux électriques de leur pays.

On a proposé de nommer différents comités pour préparer des rapports sur les questions internationales sur lesquelles on désire une entente, et de les soumettre aux réunions du Congrès. Le comité pense cependant que différer la discussion jusqu'à ce que le Congrès soit en session ne conduirait, comme on l'a vu au dernier Congrès de 1891, à Francfort, à aucun résultat satisfaisant; il insiste donc pour que la discussion se fasse par l'intermédiaire des journaux avant l'ouverture du Congrès et pour que le seul rapport présenté au Congrès soit le sommaire de ces discussions.

SÉANCES

En ce qui concerne les séances du Congrès, le comité recommande que les séances soient divisées, comme dans le Congrès de Paris en 1889, en :

a) Réunions générales. — Une à l'ouverture et une à la clôture du Congrès; elles seront consacrées aux questions générales et à celles sur lesquelles une entente est désirée, ainsi qu'à la lecture des mémoires d'un caractère général.

b) Séances de sections pour la lecture de tous les autres mémoires. On recommande la division suivante en sections.

1. Physique électrique, unités, mesures et toutes les questions électriques d'un caractère purement scientifique.
2. Dynamos, moteurs, transformateurs, etc.
3. Systèmes, stations centrales, installations, lampes, etc.
4. Télégraphie électrique, téléphonie, signaux.
5. Tramways électriques.
6. Électrochimie, piles, électrométallurgie.
7. Electrophysiologie, électrothérapeutique.
8. Questions légales.

On propose que des invitations particulières soient adressées par le comité d'organisation aux ingénieurs électriciens et aux physiciens éminents pour les prier de préparer des mémoires sur des sujets déterminés qui seraient lus et discutés aux séances du Congrès. Une invitation générale serait faite pour les autres communications qui devraient être soumises, avant le 15 juillet, à un comité nommé par le président

de la commission. Ce comité examinerait les communications, les accepterait ou les refuserait, et, à son gré, ferait imprimer tout ou partie des mémoires acceptés ainsi que les mémoires sollicités, et les ferait distribuer au moins une semaine avant la séance à laquelle ils seraient lus. Les mémoires seront lus *in extenso*, en extrait, ou simplement mentionnés, suivant décision du comité.

Entre autres sujets à traiter, on appelle l'attention sur les suivants :

Le critérium de sensibilité des galvanomètres, ou sur la théorie de leur construction.

Le fonctionnement des laboratoires nationaux ou municipaux pour l'essai des appareils.

Les résultats pratiques et l'économie de l'emploi des accumulateurs dans les stations centrales.

La relation entre le poids de cuivre et de fer dans les dynamos et leur débit.

Nomenclature et notation du circuit magnétique, ou sur les étalons et les unités magnétiques.

Magnétisme.

Emploi économique des transformateurs dans diverses conditions de charge.

Compteurs à un point de vue européen, anglais, américain.

Choix des matériaux pour un étalon de résistance électrique.

Nomenclature des phénomènes des ondes électromagnétiques.

Étalons pour mesures électriques.

Transformateurs à un point de vue américain.

Phénomènes des courants à grandes fréquences et à hauts potentiels.

Construction des dynamos.

Le comité propose de solliciter des études sur les travaux des premiers électriciens d'Europe et d'Amérique, considérés à un point de vue moderne, et sur leur importance dans le développement de la science électrique, études comprenant des descriptions, dessins ou modèles des appareils employés.

Un rapport sténographique serait publié sous forme de volume.

Le Congrès serait composé de membres délégués et de membres. Les premiers seraient désignés par les gouvernements, les sociétés de physique ou d'électricité, et seraient acceptés par un comité international dont les décisions seront sans appel : les seconds seront tous ceux qui auront acquitté le prix de la cotisation.

Les questions demandant une entente internationale seraient résolues par les membres délégués dont les décisions seraient soumises à l'ensemble du Congrès pour adoption ou rejet en tout ou en partie, mais sans modification.

Il est recommandé que le gouvernement des Etats-Unis soit prié d'adresser des invitations formelles aux gouvernements et aux sociétés étrangères pour envoyer des délégués au Congrès.

NÉCROLOGIE

M. J. E. H. Gordon.

Un accident tragique vient de mettre inopinément un terme à la carrière de cet habile électricien, qui par son aménité remplit souvent le rôle de trait d'union entre les physiciens de France et ceux d'Angleterre et dont le souvenir sympathique ne périra pas de sitôt.

Fils d'un médecin attaché au London Hospital, Henry Gordon commença son éducation à Eton, la continua à King's College, et la termina à Cambridge, où il eut la bonne fortune d'avoir pour professeur Clerk Maxwell.

Henry Gordon était encore sur les bancs quand il inventa un anémomètre enregistreur électrique qui fit quelque bruit et fut décrit en 1872 dans le *Journal Philosophique*.

Après sa sortie du collège, il se consacra à l'étude de la rotation électromagnétique et du plan de polarisation de la lumière, sujet fort délicat qu'on ne peut aborder qu'avec des appareils compliqués permettant des mesures précises. Le résultat des expériences qu'il exécuta à Darking, dans le laboratoire de son père, fut considéré comme si satisfaisant que la Société Royale de Londres publia *in extenso* le mémoire du jeune physicien dans les *Transactions philosophiques*, pour 1875.

Il en fut de même l'année suivante pour des recherches sur un sujet non moins important, mais non moins ardu, l'étude de la capacité inductive des diélectriques.

Quoiqu'il n'eût encore que 26 ans, l'auteur de ces recherches fut nommé secrétaire-adjoint de

l'*Association Britannique*, poste qu'il remplit avec distinction aussi longtemps que ses occupations multiples lui permirent de le faire.

En 1881, M. Gordon fut envoyé par les comités anglais pour assister à la grande exposition internationale qui exerça une si étonnante influence sur le développement des industries électriques en France, et qui marque même l'origine d'une ère nouvelle dans l'histoire de leurs progrès dans le monde.

Lorsqu'il arriva en France, Gordon venait de publier son œuvre capitale, un traité volumineux d'électricité pratique, illustré de planches splendides et comprenant les théories les plus nouvelles. Le succès de ce livre qui, malgré son prix élevé, eut rapidement trois éditions, fut des plus brillants. M. Gordon en publia à la librairie Baillière une traduction française précédée d'une préface due à la plume de M. Cornu.

Le *Traité pratique d'électricité* fut suivi en 1884 d'un *Traité spécial de lumière électrique*, et en 1886 d'un abrégé à l'usage des écoles.

M. Gordon a également publié nombre de mémoires, soit seul, soit en collaboration, dans plusieurs journaux scientifiques.

En même temps il dirigeait comme ingénieur d'importants travaux, de sorte que son nom est attaché à la création du puissant outillage qui permet à l'électricité de lutter avec avantage contre le gaz dans le pays même où le charbon est à un bon marché exceptionnel, et où la fabrication du gaz d'éclairage a pris naissance.

Pour obtenir ce résultat, qui peut paraître paradoxal, M. Gordon avait pour principe qu'en lumière électrique il faut à la fois faire bon et faire grand.

C'est dans ce but qu'il construisit en 1882, et exposa dans les ateliers de la Maintenance Company, de Greenwich, une dynamo qui fut pendant quelque temps la plus grosse des deux hémisphères et occupa vivement l'attention des physiciens. La première application de ses principes est l'installation de la station centrale de Paddington, où l'on emploie actuellement une force motrice de 2000 chevaux-vapeur.

Il procéda à l'installation de la station de Whitehall, qui fut achetée par le Bureau métropolitain des travaux publics. Pendant quelque temps, M. Gordon dirigea l'établissement comme ingénieur, mais ne pouvant s'entendre avec les politiciens qui influent trop souvent sur les décisions de cette administration publique, il donna sa démission, prétextant l'extension de la clientèle de son cabinet d'ingénieur consultant.

Après s'être séparé du Bureau métropolitain, M. Gordon s'associa avec M. J. Rivington, dans le but d'installer des stations centrales; c'est ainsi qu'il fut amené à s'occuper de la station de Sydenham-Hill.

Au milieu de ses multiples occupations, M. Gordon était resté un amateur d'équitation. Bien souvent, pour se distraire de son travail assidu, il faisait de longues promenades à cheval.

Le 7 février dernier, son cheval s'emporta dans les environs de Craydon. M. Gordon fit une chute si malheureuse qu'il se fracassa le crâne. On le transporta en toute hâte à l'Hôpital général, où il arriva mourant, et il expira sans avoir repris connaissance.

Né en 1852, M. Gordon meurt donc à quarante et un ans, après une carrière d'ingénieur de quinze ans seulement. Ce sera certainement un collaborateur bien difficile à remplacer pour les nombreuses et importantes entreprises dont il s'occupait avec autant de conscience que d'activité.

W. DE FONVIELLE.

VARIÉTÉS

LE CAOUTCHOUC DU HAUT-ORÉNOQUE [1]

Résultats de la méthode. — Ainsi pour coaguler et antiseptiser une tonne, soit mille litres de lait, il faut deux litres d'acide sulfurique ordinaire et quatre litres d'acide phénique non cristallisé, impur. La dépense pécuniaire est donc complètement négligeable.

(Nous ne mettions que des solutions toutes prêtes entre les mains de nos travailleurs. C'est le conseil que nous donnerions si l'on voulait appliquer notre méthode : seulement avec cette précaution, on évitera le gaspillage des acides, destiné fatalement à se produire en des mains barbares, les Indiens ayant toujours une tendance à mettre trop;

[1] *La Lumière Électrique* du 18 février 1893.

on arrivera ainsi à la précision, en évitant surtout tout danger, ou tout accident.)

Avantages de la méthode. — Ils sont de toutes sortes :

1° *Rapidité.* — On a vu le temps que mettait un Indien à coaguler un litre de lait par le fumage : nous coagulons et désinfectons *instantanément.*

2° *Facilité et simplicité.* — Avec notre procédé, on n'a pas à craindre de brûler la planche ; un excès, même considérable, d'acides n'a aucune importance pour la qualité du caoutchouc ; le travail du fumage, désagréable déjà par sa fumée aveuglante, exige que l'Indien reste accroupi deux heures sur ses talons ; il doit prendre toutes sortes de soins minutieux pour régler son feu, son tirage, répandre le lait, bien tourner, etc. Tous ces inconvénients sont supprimés.

3° *Economie de main d'œuvre et d'argent*, parce qu'il y a économie de temps : le travailleur ne se reposera plus les deux tiers de sa journée, ne chômera pas aux heures chaudes et par les temps pluvieux ; un homme fera le travail de cinq hommes, au minimum.

4° *Possibilité de travailler à toute heure du jour.* En effet, aux heures chaudes de la journée, l'élévation de température fait se coaguler spontanément le lait dans les récepteurs placés au pied de chaque arbre. Avec notre méthode, on usera de l'un des procédés suivants :

A. Coaguler une moins grande quantité à la fois : le travailleur repassera plus souvent à ses arbres, toutes les demi-heures par exemple, coagulant au fur et à mesure.

B. Ou même, il enduira les parois du petit récipient de la solution mixte et en laissera dans le fond quelques dizaines de grammes ; le lait se coagulera seul. A la fin de l'opération, le travailleur mettra dans un baquet plein de solution tous ces coagula, les malaxera au sein de la liqueur ; ils finiront par constituer une masse homogène, l'acide phénique, grâce au pétrissage, ayant bien pénétré partout.

C. Enfin, acceptons la situation pire : supposons que le lait se coagule sur le tronc et n'arrive pas jusqu'au récepteur, cela se produit quelquefois avec une intense chaleur atmosphérique. Dans ce cas, l'Indien barbouillera le tronc de solution au moyen d'un pinceau, à trois doigts au-dessous des plus basses piqûres, et toutes les fois qu'il passera devant ses arbres il répétera cette petite opération. Le lait ayant cessé de couler, il le pétrira dans une grande quantité de solution, ainsi qu'il est dit plus haut.

Evidemment, le caoutchouc ainsi fait sera, peut-être, un peu moins agréable à l'œil : mais le travailleur n'aura pas perdu sa journée.

5° *Possibilité, de plus, de travailler en tout temps*, à toute époque de l'année. Nous avons vu que s'il pleut pendant l'opération du piquage, le caoutchouc n'est plus apte à être fumé. Cela n'a aucune importance avec notre procédé ; on sera quitte en employant un peu plus de solution ou en élevant son titre, ce qui est à peu près inutile avec les solutions fortes que nous avons formulées plus haut ; en principe, *la plus petite quantité de lait, même mélangée à la plus grande quantité d'eau,* est toujours coagulable en présence de l'acide sulfurique, cet acide s'hydratant jusqu'à complet épuisement de force : c'est donc une question de coefficient.

Comme conséquence, on pourra travailler sans interruption plus de six mois de l'année, en dépit des orages et des averses. Les travailleurs arriveront sitôt que les eaux se seront suffisamment retirées et ne seront chassés que par la nouvelle inondation.

Nous avons fait nous-même toutes les expériences dont nous parlons, par les temps les plus chauds et les plus pluvieux, et toujours avec un égal succès.

6° *Impossibilité de fraude, d'adjonction de matières étrangères.*

Pour fabriquer du caoutchouc fin, nous n'employons absolument que du lait pur, écartant, à l'instar des Indiens, tout ce qui pourrait faire du cernambi ; il est vrai que nous avons beaucoup moins de déchets qu'eux-mêmes, — beaucoup moins, et souvent pas du tout, grâce à la rapidité du système, — au fond du gros collecteur.

Il n'y a que le cas où une température trop excessive empêche le lait de couler jusqu'au pied des arbres, et où nous devons en désinfecter la surface : mais ces jours-là nous en prendrons notre parti et ne ferons que du cernambi, s'il faut conserver ce nom pour le produit ainsi obtenu, très supérieur au cernambi indien. Du reste, l'emploi des godets de fer blanc, ou mieux de fer émaillé, que nous proposons plus haut, résoudrait en partie la difficulté, en les fixant tout auprès, tout au-dessous des piqûres.

Il se passe un fait remarquable dans une planche faite aux acides : la plus petite trace de cernambi s'y reconnaît au bout de huit jours, au simple coup d'œil, sans la couper. Ayant ainsi produit des planches avec du lait pur auquel nous incorporions volontairement pendant la coagulation, des parcelles de bois, de feuilles, des poussières diverses, nous reconnaissions immédiatement la présence du cernambi : la planche de lait pur restant parfaitement blanche, il s'était formé, au niveau de toutes les impuretés, des plaques de cernambi, qui se détachaient à l'œil en îlots d'un brun foncé, pleins de vacuoles, de gaz fétides et de micro-organismes; car malgré l'antiseptie ambiante, ces matières solides constituaient sans cesse des foyers de putréfaction isolés, tellement isolés qu'on pouvait les séparer, avec un couteau, du reste de la planche saine.

Nous n'aurons donc plus, au fond du collecteur général, le coagulum spontané ordinaire, et dès lors le cernambi, réduit à sa plus simple expression, et déjà supérieur, se composera uniquement de la bavure qui se forme à la surface et des impuretés du lait : ainsi, il ne se perdra plus une quantité précieuse de lait fin.

7° *Enfin, facilité plus grande dans les transactions.* Il n'y aura plus à l'avenir à établir, dans l'achat, ces divisions gênantes de *gomme fine, entre-fine, demi-fine* et *cernambi*, divisions qui ont le don d'exciter la fureur des Indiens, qui les font entrer en lutte avec l'acheteur : c'est une dispute à chaque planche. Souvent, il est juste de le reconnaître, l'Indien a mis un soin délicat et paternel à faire du beau caoutchouc, mais, pour la plus petite cause, la plus puérile, un léger coup de feu, un bout de bois qui sera tombé sur sa planche, un peu d'écume, il se la verra impitoyablement refuser pour une première qualité ; quelquefois il a raison, très souvent il a tort : il a intérêt à vanter sa marchandise, à vouloir écouler une gomme *demi-fine* pour de l'*entre-fine*, de l'*entre-fine* pour de la *fine*; l'acheteur, au contraire, la déprécie toujours pour tâcher d'atteindre le prix de la qualité en dessous : ce qui se passe dans toute l'humanité arrive à plus forte raison pour un produit sans critérium exact, tout d'œil et de bonne foi ; bonne foi parmi acheteurs et vendeurs également dépourvus de cet article, pas encore importé dans le Haut-Orénoque; l'Indien prétend toujours qu'on le vole, c'est parfois vrai, et il saute sur ce prétexte pour tâcher, lui, de voler le plus possible. Les *yeux* qui se trouvent sur les planches sont surtout l'objet de litiges animés, car ils ne sont point de la faute de l'Indien et ne déprécient réellement pas la vraie qualité.

Il était donc désirable d'avoir des divisions de qualité moins subtiles, plus saisissables, reposant sur une pierre de touche strictement établie. C'est ce qui arrive avec notre caoutchouc : pas de bulles; donc, pas d'*yeux* : la plus petite trace de cernambi due à une impureté se reconnaît de suite, indiscutablement, tranche en noir sur la masse blanche. Si on n'a employé que du lait pur, on n'aura qu'un pain toujours blanc; si un corps étranger a échappé à l'attention, il se reconnaîtra bientôt et pourra être énuclée avec un couteau. Nous n'aurons donc plus qu'un poids et qu'une mesure : qu'un caoutchouc absolu, tout le reste étant cernambi.

Conclusions. — Notre méthode mérite, nous semble-t-il, à tous égards, de détrôner le vieux procédé empirique des Indiens, long, pénible et si rempli d'inconvénients, quoique donnant un excellent caoutchouc. Nous n'avons pas la prétention d'être un grand chimiste ; notre procédé est encore plus de bon sens que de science, fruit d'observation et de bonheur plutôt que de théorie. Ce que nous avons vu et trouvé, tout Européen l'eût trouvé à notre place, sans être un savant : la question était de voir travailler les Indiens de près, de vivre avec eux et de savoir regarder et se rendre compte, pas plus. Nous avons été assez heureux pour le faire le premier, tout surpris qu'on n'ait pas trouvé avant nous une méthode dont la simplicité sautait aux yeux.

Imitation du caoutchouc indien. — Cependant, pour compléter nos études, nous avons voulu nous rendre compte du rôle que pouvait jouer le charbon dans le caoutchouc fumé. Il n'a pas grande importance; cependant, il peut être utile comme condensateur des principes volatils aromatiques auxquels le procédé du fumage doit son antiseptie.

Pour nous rapprocher complètement de la méthode indienne, nous avons mélangé du lait pur avec une certaine quantité de noir de fumée, assez faible, à peine suffisante pour rendre le lait un peu gris, puis nous avons traité le mélange par la solution mixte d'acides.

Au bout de quelques mois, grâce à la divisibilité infinie du charbon, ces planches étaient devenues noires et exactement semblables à du caoutchouc fumé.

Nous sommes même allé plus loin : nous avons préparé une planche, par les acides et le charbon, sur la palette, en trempant la palette dans la solution, puis dans du lait, cela plusieurs jours de suite ; nous avons fait ainsi une série de couches superposées et séparables. Une fois finie, nous la séparâmes de la palette par l'incision ordinaire : elle était si *complètement semblable au caoutchouc des Indiens que ceux-ci se sont toujours refusés à croire qu'elle eût été obtenue autrement que par leur fumage.*

Emploi du charbon inutile. — Si la présence du charbon peut avoir son utilité dans le procédé indien comme condensateur et fixateur des huiles essentielles antiseptiques contenues dans la fumée très chaude, il n'en est plus ainsi avec un antiseptique de la même série atomique, mais stable comme l'est un acide, le phénol ; là, l'emploi du charbon devient complètement superflu ; tout au plus pourrait-on s'en servir pour imiter le vrai Para indien : chose inutile, puisque des industriels américains, français et anglais, saisis d'abord à la vue de ce caoutchouc complètement blanc, ont été unanimes à le reconnaître et à vouloir l'acheter comme du Para fin ordinaire, estimant que ses qualités étaient les mêmes.

Cependant le caoutchouc noir, connu sous le nom de Para, jouissant seul de la prime sur tous les marchés du monde, peut-être ferait-on subir à notre caoutchouc une dépréciation de 2 à 3 o/o sur le cours du Para ; dépréciation momentanée, jusqu'au jour où il commencerait à être connu.

Car notre caoutchouc est blanc, dur et résistant, quoique tout aussi élastique, compact et agréable à l'œil, d'une bonne odeur empyreumatique, d'une fibre serrée, souple et nerveuse : il exigera moins de purifications ultérieures, étant du caoutchouc pur, tandis que le Para est mélangé de charbon : ses autres propriétés restant les mêmes, il est à prévoir qu'il fera prime sur le Para lui-même, s'il vient à en arriver régulièrement une certaine quantité sur les marchés français et anglais.

Expression. — La seule chose qui manquât à nos planches, produites, on le comprend, avec un outillage des plus rudimentaires, était une forme unique et une surface bien lisse ; pour enlever plus rapidement l'excès d'eau de nos planches fraîches, nous les pressions simplement entre des pierres. Cela en rendait la surface un peu inégale, à cause de l'inégalité de la pression sur les différents points et de la rugosité du granit non poli.

Cette opération de l'expression est utile ; la planche, débarrassée en partie de son humidité sitôt sa confection, acquiert un aspect plus brillant et un ton plus chaud.

Nous la conseillons ; mais il est utile de se servir de presses, en bois par exemple, d'un effet régulier et assez puissant.

Moulage. — Le plan sur lequel repose la planche à exprimer aura une forme carrée, ronde ou ovoïde et pourra même porter en relief une initiale, un signe, une véritable marque de fabrique, qui s'affaissera un peu avec le temps, mais sera toujours reconnaissable ; on aura des moules de différentes grandeurs suivant la quantité de lait recueillie en une fois ; de cette façon, on produira un caoutchouc de forme, de couleur, d'aspect identiques, timbré à l'empreinte du fabricant et présenté d'une manière sinon artistique, du moins plus agréable à l'œil que l'affreux Para des Indiens, qui, s'il est excellent, est d'un aspect fort laid.

Autres perfectionnements. — Il y aura bien d'autres corrections à apporter au mode d'exploitation actuellement en vigueur pour arriver à une exploitation vraiment productive, intensive, intelligente et complète.

Nous avons déjà dit comment il fallait attaquer la forêt pour l'atteindre en profondeur ; dans la troisième partie de ce travail, nous étudierons le moyen d'épuiser un arbre de tout son lait, de le saigner à blanc.

Tenons-nous en pour le moment au vieux procédé de piquage, car celui que pratique l'Indien est incomplet. L'Indien, tout à l'aise dans la forêt immense, inhabitée, ayant à sa disposition un nombre d'arbres presque infini, n'a nul souci de demander à chacun son maximum de rendement ; pour éviter du travail, il en prend un nombre dix fois plus considérable qu'il n'est utile pour obtenir une quantité de lait donnée. Il pique, au niveau de sa taille, une hauteur de tronc de quatre-vingts centimètres, pas plus.

Or, un arbre peut être saigné tous les deux jours sur toute la longueur de sa tige pendant

six mois de l'année, et sans en souffrir, ainsi que nous l'avons expérimenté.

Lorsqu'on mettra un coin de forêt en exploitation réglée au moyen d'émigrants, on ne pourra donner à chacun d'eux qu'un nombre d'arbres limité; ils devront dès lors, au moyen d'échelles légères par exemple, piquer les arbres sur la plus grande hauteur possible, et renoncer conséquemment à l'emploi de la liane, pour mettre au-dessous de chaque série de piqûres un petit godet dans le genre de celui ci-dessus proposé par nous.

La hachette indienne. — Enfin, leur instrument à piquer, leur hachette, est elle-même un outil primitif, en ce sens que, produisant une seule piqûre d'un coup, elle n'abat pas suffisamment de besogne (fig. 7).

Leur minuscule hachette, pas plus grosse que l'extrémité du pouce (un centimètre et demi de haut — tranchant — sur trois de long), est fixée à l'extrémité d'un manche de bois d'un pied de

Fig. 7. — La hachette indienne.

longueur; ils appliquent le tranchant sur l'écorce, obliquement par rapport au grand axe de l'arbre; un coup sec est frappé au moyen d'un court rotin de bois dur, sur le dos de la hachette, qui mord alors sur l'écorce et l'incise; c'est la piqûre. Ils font généralement de quatre à six piqûres obliques sur une même ligne verticale, quelquefois deux ou trois, quelquefois beaucoup plus: ces piqûres doivent être bien exactement juxtaposées; il faut donc frapper sur un point précis, et cela exige des précautions et quelques secondes pour une piqûre. Ils établissent cinq ou six lignes de ces piqûres autour de l'arbre, et à diverses hauteurs; ainsi le lait provenant d'une ligne de piqûres vient aboutir à une ligne inférieure et correspondante, car les premières gouttes qui s'écoulent, ne l'oublions pas, se collent à l'arbre et sont perdues, servant simplement de lit, de fil conducteur, aux gouttes suivantes qui pourront alors former rigole et tomber; le lait entraînant toutefois dans son parcours poussières et débris, surtout s'il doit faire un long trajet, notre godet supprimera ces inconvénients.

Notre hachette. — Pour permettre aux piqûres d'avoir l'obliquité voulue et d'être bien les unes au-dessous des autres, et surtout pour gagner du temps, nous avons imaginé de remplacer la hachette indienne par une hachette multitranchante; c'est un outil de fer à manche de bois coudé, à cinq mors obliques; cette série de cinq dents constitue une série de hachettes successives, jointes ensemble sur le même montant; d'un seul coup de maillet appliqué sur le dos de l'instrument on produira l'effet de cinq coups

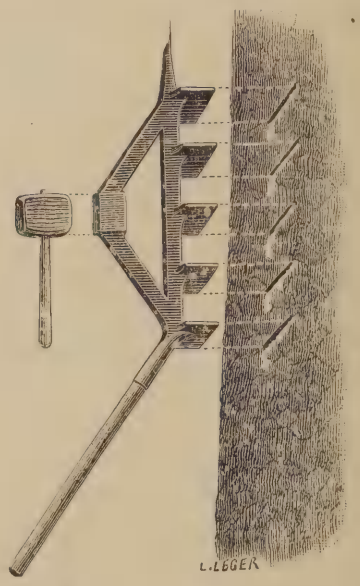


Fig. 8. — Hachette à piquer du Dr L. Morisse.

de la hachette de l'Indien, parfaitement obliques, mathématiquement espacés, et l'on ne craindra plus d'emporter tout un morceau d'écorce, comme le fait parfois l'Indien, s'il donne deux coups trop convergents ou trop rapprochés (fig. 8).

IX. — Evaluation des richesses

Nous avons voulu savoir, le plus exactement possible, ce que ces forêts pouvaient contenir en caoutchouc, tout au moins dans les points où nous pouvions le plus facilement les atteindre, c'est-à-dire surtout sur les bords des cours d'eau.

Nos expériences finies sur le lait de caoutchouc, et notre procédé bien arrêté, nous nous

sommes occupé de rechercher quelle était la richesse de la forêt en Hevœa, la richesse moyenne de chaque Hevœa en lait, la plus grande quantité qu'on pouvait en extraire en une fois, le rendement moyen, le travail qu'un homme fait d'habitude, celui qu'il peut faire par heure et par jour. Commencées au Vénézuéla, nos études portant sur ces divers points ont été terminées au Brésil.

Richesse des forêts en Hevœa. — Les Hevœa sont disséminés dans les forêts à des intervalles très variables. Car il ne faudrait pas croire — ainsi qu'on nous l'a dit — qu'il y existe des forêts de caoutchouc, rien que de caoutchouc, comme il y a des forêts de chênes ou des bois d'orangers. Non, l'Hevœa pousse au milieu des centaines, des milliers d'essences diverses dont ces forêts vierges sont composées; il y vit en famille sans doute, mais à côté d'individus de familles tout autres.

Dans l'Orénoque, on trouve un Hévé tous les vingt, à vingt-cinq mètres, quelquefois même plus loin. Dans le Rio Negro, de l'embouchure du Cassiquiare au Cucui (frontière vénézuélo-colombio-brésilienne), ils sont environ à quinze mètres les uns des autres; à Maravitana, un peu moins serrés, pour cesser presque vers Taparucuara, point extrême où arrivent les bateaux à vapeur de Manaos en hiver; ils recommencent bien plus bas.

Mais, dans le Cassiquiare on trouve un caoutchouc tous les dix, douze mètres carrés; dans ses affluents de droite, le Pacimone et le Siapa, ils sont si abondants qu'ils se touchent presque, au moins aussi abondants, sinon plus, que dans les points les plus riches du Rio Branco et de l'Amazone.

Richesse de l'Hevœa en lait. — Nous ne prendrons pour base que le mode de piquage actuellement employé par les indigènes: l'arbre piqué sur une hauteur de quatre-vingts centimètres, pas plus.

Dans l'Orénoque, tandis que chaque arbre ne fournit pas en moyenne, par jour de piquage, quarante à cinquante grammes de lait, de Maipures à San Fernando de Atabapo; et de cinquante à soixante, de ce dernier bourg à la bouche orénoquale du Cassiquiare, il donne au contraire de quatre-vingts à cent grammes de San Carlos de Rio Negro au coude du Rio Negro (confluent du Vaupes). Mais dans le Cassiquiare, il sue de cent vingt-cinq à cent cinquante grammes, et souvent beaucoup au-dessus; nous en avons vu donner jusqu'à trois cents grammes de lait dans une matinée, mais c'est là un maximum et une rareté.

De toutes ces régions, le Cassiquiare avec ses affluents, le Pacimone et *surtout le Siapa*, sont donc de véritables lieux d'élection, d'autant que c'est encore là où nous avons trouvé les Hevœa les plus nombreux et les plus rapprochés; la proportion de la richesse de l'Hevœa en lait est donc, comme on peut le voir, en raison directe de la richesse des forêts en Hevœa.

Quelle est la cause de cette loi qui nous a paru constante? Ici, nous nous heurtons à des mystères de la nature, de la végétation, et nous ne pouvons constater que des effets. Mais il est certain, entre autres choses, que dans tous les arbres à caoutchouc d'une même forêt, la montée et la descente de la sève ne se font pas identiquement de la même façon, nous voulons surtout dire à la même époque; il y a même des différences de temps très notables. Tel arbre piqué n'a rien produit, par exemple, jusqu'au mois de janvier, tandis que tous ses voisins donnent constamment depuis septembre ou octobre; en janvier, tout à coup, son époque arrive, il coule abondamment; même les yeux qu'on lui a faits précédemment se rouvrent, et il se met à pleurer toutes les larmes de son corps; et cela peut tarir brusquement pour lui et pour ceux qui versaient depuis le commencement de la saison.

Beaucoup cependant, et avec toutes les apparences d'une bonne et vigoureuse santé, restent des années sans couler, ou la quantité de lait qui brille au coin de l'œil est si petite, si mince, qu'elle ne peut arriver jusqu'à la liane conductrice. Certains, rabougris, chétifs, de faible constitution, à la frondaison rare, donnen beaucoup de lait et, depuis de longues années; d'autres ayant fortement saigné pendant les récoltes précédentes, portent noblement les cicatrices indélébiles du travail, tout couturés de verrues, de coups de sabre, mais... semblent épuisés, quoique toujours verts, et refusent de donner à la hachette harcelante leur lait d'autrefois. D'autres à côté, très gros, superbes de belle mine, mais paresseux et insensibles, n'ont jamais rien fourni. La généralité heureusement est assez fidèle.

Il faudrait de nombreuses années, de longues études pour posséder à fond la physiologie et la pathologie de l'Hevœa, se rendre compte des influences de voisinage, d'hygrométrie, d'électricité, d'exposition; mais nous pouvons dire que son latex est fort capricieux et semble vouloir échapper à toute formule.

Résultats d'expériences sur le travail possible. — Laissons de côté pour le moment le caoutchouc produit annuellement dans ces contrées; nous verrons plus loin comment l'Indien se comporte d'habitude en présence des richesses qui sont à la portée de sa main. Nous ne pouvons en tenir compte comme renseignement sur le travail possible; quand il daigne bien travailler, il est si inconstant, si changeant d'activité, son moral est si influencé par les fêtes, la pluie et la chaleur, qu'on ne peut établir aucune donnée positive sur le sujet qui nous occupe.

Que le lecteur veuille bien refaire avec nous le voyage et se transporter vers le milieu du Cassiquiare, entre le Siapa et le Pacimone; admettons que chaque arbre fournisse en moyenne cent grammes de lait, ce qui est déjà au-dessous de la réalité. Parlons d'après ce que nous avons fait nous-même, travaillant à titre d'expérience, comme le fait d'ordinaire un journalier européen, mais avec notre méthode de coagulation et d'antiseptie.

Pendant quinze jours — nous étions favorisé par le temps — nous sommes arrivé à piquer une moyenne de cent-quatorze arbres par heure; nous travaillions huit heures par jour, le matin de six heures à 11 heures; l'après-midi de trois à six, évitant ainsi la forte chaleur; nous piquions donc neuf cent douze arbres dans un jour, et, tenant compte de la déperdition et du déchet dont nous retirions cependant du cernambi, nous coagulions au minimum la somme énorme de quatre-vingts kilogrammes de lait en une journée.

La planche perd, en séchant, environ 35 o/o de son poids primitif; en faisant la part du cernambi, nous avions produit par jour, en huit heures de travail seulement, la moyenne de cinquante kilogrammes de caoutchouc pur, fin et sec. Notre caoutchouc a été vendu à cette époque à raison de sept francs le kilogramme : nous réalisions donc un gain de 350 francs par jour. Quelque temps après, par suite de la révolution brésilienne et d'une sorte d'accaparement au Para, le caoutchouc montait à 10 francs, chiffre qu'il a dépassé depuis, pour retomber à un des cours les plus inférieurs qu'on ait vus, soit 6 francs le kilogramme. Si nous avions attendu, revendant au cours de 10 francs, nous aurions gagné 500 francs par jour de travail!

Ces chiffres paraissent exhorbitants, exagérés, et nous n'oserions les donner avec cette affirmation si nous n'avions fait l'expérience, si nous ne les avions établis nous-mêmes d'après nos propres travaux.

Une personne qui veut travailler, un émigrant, par exemple, peut donc, en fournissant un labeur peu considérable, et pas fatigant, de six heures par jour, avoir facilement à lui mille arbres préparés, en deux doubles picas; il en piquera cinq cents par jour, deux cent cinquante le matin et deux cent cinquante l'après-midi; il fera très aisément ses cinquante kilogrammes de caoutchouc *frais* par jour, soit 33 kilogrammes de caoutchouc anhydre; et, s'il est bien intéressé au travail, il aura à lui deux mille arbres et en piquera mille par jour en deux fois.

Inutile de dire qu'aucun Indien n'arrive à ce chiffre de production, comme moyenne, dans la saison, avec le procédé du fumage; il s'en faut même de beaucoup.

Au début de la récolte, il faudra à un travailleur huit jours et plus, s'il a sa case à construire, pour s'installer, reconnaître ses arbres, percer ses picas. Chaque arbre peut être disposé en moins de dix minutes avec sa liane, sa glaise, plus rapidement encore avec les godets que nous proposons, et, *cela une fois pour toutes*, au commencement de la saison. Les arbres étant, par exemple, à quinze mètres les uns des autres, même moins (Cassiquiare), si notre émigrant pique cinq cents arbres par jour, il aura fait, dans sa journée, de sept à huit kilomètres pour les suivre tous.

Ce travail n'est nullement pénible : l'opération la plus dure était celle du fumage, à cause de la position accroupie; or nous le supprimons. Il se fait à l'ombre, au petit pas, avec un arrêt au pied de chaque arbre, aux heures les plus agréables de la journée; c'est un travail de femme ou d'enfant.

Dr Lucien Morisse.

(*A suivre.*)

FAITS DIVERS

Nous avons dit dans quelles conditions a été créé le Bureau de contrôle des installations électriques dont la direction a été confiée par la Chambre syndicale des industries électriques à M. Picou. Voici un extrait du règlement général, qui vient d'être publié :

Le bureau de contrôle garantit à ses abonnés, à titre de service ordinaire, deux vérifications de leurs installations par an.

Ces vérifications, qui seront toujours complétées par des mesures d'isolement et une épreuve du compteur, se feront sans aucun avertissement préalable, en tenant compte seulement des indications des abonnés, à un intervalle de cinq mois au moins et de sept au plus.

Les inspecteurs sont tenus de donner, à chaque visite, toutes les indications nécessaires pour assurer la bonne marche de l'installation.

Toute visite donne lieu à un rapport écrit constatant l'état général de l'installation et signalant les points particuliers auxquels des modifications doivent être apportées. Ce rapport est adressé à l'abonné.

En cas d'accident, les abonnés sont tenus d'en aviser immédiatement le Directeur, qui se rend sur place ou envoie un inspecteur, aussitôt qu'il a connaissance de l'accident, pour en rechercher les causes. Cette visite est toujours gratuite.

Toute addition, modification, ou réparation de quelque importance d'une installation doit être signalée au Directeur avant sa mise à exécution.

Les abonnés au bureau de contrôle payent, pour le service orninaire de visite de leurs installations, un abonnement dont le taux est fixé ci-dessous.

En dehors des visites régulières, l'adhérent peut réclamer des visites supplémentaires, toutes les fois qu'il le jugera nécessaire; elles donneront lieu à la perception d'une taxe déterminée plus loin.

Le personnel du bureau est, de plus, à la disposition des abonnés et du public, pour exécuter sur place tous travaux de sa compétence, tels que : essais de rendement de dynamos ou d'accumulateurs, vérifications de compteurs ou d'appareils de mesure, le tout moyennant une rétribution déterminée par le présent règlement.

Le bureau de contrôle tient, en outre, à la disposition des abonnés les renseignements relatifs aux installations électriques et centralisés par lui. Il peut même, sur leur demande, leur en communiquer des copies, en percevant une rétribution discutée de gré à gré avec le Directeur.

Le bureau de contrôle publie, chaque année, un bulletin renfermant un compte rendu de ses travaux et un rapport du Directeur. Ce bulletin est adressé gratuitement à tous les abonnés. Il ne peut être mis en vente.

Tout propriétaire d'une installation électrique qui désire s'abonner au bureau de contrôle doit remplir et signer une feuille d'adhésion au règlement, et l'envoyer au directeur du bureau.

L'abonnement, pendant les six premiers mois d'un exercice, part du 1er janvier et oblige au payement de la cotisation pour l'année entière.

Si l'abonnement est postérieur au 1er juillet, la cotisation sera réduite de moitié pour l'exercice courant.

Tout abonné qui n'aura pas manifesté, par lettre, avant le 1er octobre de chaque année, l'intention de cesser son abonnement, se trouvera engagé pour toute la durée de l'année suivante.

Les tarifs à percevoir sont ainsi fixés :

I. — *Taxe annuelle d'abonnement.* — La taxe est basée sur le nombre de lampes à incandescence que comporte l'installation, chaque lampe à arc étant comptée comme cinq lampes à incandescence, et chaque moteur ou dynamo électrique comme dix

Installation comprenant :	Par lampe et par an	Minimum
Moins de 20 lampes....	0 fr. 50	5 fr. »
de 20 à 50 lampes....	0 45	10 »
de 51 à 100 lampes....	0 40	22 50
de 101 à 200 lampes....	0 35	40 »
de 201 à 500 lampes....	0 30	70 »
de 501 a 1.000 lampes....	0 25	150 »
plus de 1.000 lampes....	0 20	250 »

II. — *Taxe des visites générales supplémentaires chez les abonnés.* — Un tiers de la taxe annuelle d'abonnement, avec minimum de 5 francs.

III. — *Taxe des vérifications de points spéciaux dans les installations d'abonnés et des travaux extraordinaires, visés à l'article XI.*

Par journée.....	30 francs.
Par demi-journée.....	20 —

IV. — *Taxe des vérifications des installations pour le compte des personnes non abonnées.* — Les deux tiers de la taxe annuelle d'abonnement avec un minimum de 5 francs.

Les tarifs ci-dessus sont applicables au département de la Seine. Pour les autres départements, les frais de déplacement du directeur ou de l'inspecteur seront à la charge des adhérents, qui pourront se grouper pour supporter cette dépense à frais communs.

Ce règlement a été discuté et approuvé par la Chambre syndicale des Industries Electriques, dans sa séance du 7 février 1893.

Il est revisable, par décision de la Chambre syndicale, à la fin de chaque année.

L'exemple donné par le Bureau central de France vient d'être suivi par l'observatoire de Greenwich. M. Ellis, di-

recteur de cet établissement, vient de publier une carte des lignes d'égale déclinaison magnétique dans l'Angleterre et dans le pays de Galles.

Cette carte se trouve dans un supplément du *Colliery Guardian* en date du 6 janvier 1893. Elle est basée sur les déterminations exécutées par MM. Rücher et Thorpe, sur des procédés analogues à ceux que M. Moureaux a employés en France. Mais le travail de M. Ellis ne se borne point à cette publication : il contient une table indiquant les relations existant entre la variation quotidienne de la déclinaison magnétique et les taches du soleil, en se basant sur les observations magnétiques faites sous sa direction à Greenwich. M. Ellis a constaté, comme on l'a déjà fait au Parc Saint-Maur, qu'il existe une relation entre les maxima des taches du soleil et ceux des variations diurnes du magnétisme terrestre. Il a constaté la même liaison entre les minima. Il a, de plus, constaté la liaison qui existe entre les valeurs moyennes de la variation diurne et la fréquence des taches solaires aux époques de minima : elle est seulement, à Greenwich bien entendu, de 7′ 4 d'arc, mais aux époques de maxima elle s'élève à 11′ 4, ce qui constitue une différence de 50 o/o de la valeur la plus faible. M. Ellis indique de plus un fait très curieux et dont l'explication n'est sans doute pas très facile. La période des taches solaires est considérée comme étant de 11 années 1/2, mais le maximum n'est pas au milieu de la période ; il se produit toujours 4 ans 1/2 après un minimum et 7 avant un autre.

La Société électrotechnique de Berlin compte maintenant 1499 membres, dont 1177 en Allemagne. Les 382 membres étrangers sont répartis entre tous les pays du monde; nous en trouvons 11 en France; la Chine, le Japon, la République sud-africaine y sont représentés.

Une pompe à air mécanique, capable de produire un bon vide dans les globes de lampes à incandescence, serait évidemment bien reçue par les fabricants. La pompe à mercure ne permet qu'un travail long, coûteux et nuisible à la santé des ouvriers. *L'Engineering Magazine* dit qu'une fabrique de Boston se sert d'une pompe mécanique, inventée par M. Berrenbergh, et qui permettrait de faire le vide simultanément dans 600 lampes, dans l'espace d'une heure, le tiers de ce temps étant occupé à expulser les gaz occlus dans le carbone. Si ce résultat est réellement atteint par la machine en question, il pourrait faire diminuer dans de grandes proportions le prix de revient des lampes à incandescence.

M. Epstein a fait breveter une presse pour fabriquer des boîtes en plomb gaufré pour accumulateurs.

On doit compter lord Salisbury au nombre des fidèles de l'électricité. En effet, dans son discours prononcé à l'inauguration du chemin de fer électrique suspendu de Liverpool, il a énuméré avec un entrain extraordinaire les bienfaits que la race humaine a déjà reçus de l'électricité et il a même constitué ceux qu'elle est à même d'en attendre.

Dans un article publié dans le *Journal d'Astronomie et de Physique astrale* pour le mois de janvier, M. Ricio examine le résultat de la comparaison des perturbations magnétiques enregistrées à l'Observatoire naval, et de l'époque du passage au méridien principal des taches. Il a trouvé en 1892 sept cas dans lesquels le passage de la tache sur le méridien central a été suivi d'une perturbation magnétique, mais dans ces sept cas il a trouvé un retard variant de 21 heures à 51 et donnant pour la propagation de l'effet une vitesse de 913,000 mètres par seconde, valeur à peu près égale à la 300ᵉ partie de la vitesse attribuée à la lumière.

M. P. Jannettaz a repris les expériences dont Wiedmann rendait compte à l'Académie en 1850, et relatives aux figures électriques obtenues en recouvrant la face d'un cristal d'une matière à grains fins et légers, telle que la poudre de lycopode ou le talc, et en faisant arriver un flux électrique par une pointe normale à la face considérée.

En faisant à son tour passer par la pointe une série de décharges, M. Jannettaz a pu obtenir des ellipses très régulières. Il s'est servi dans ses recherches d'une machine électrostatique. Il a vérifié ainsi les conclusions de Wiedemann pour un grand nombre de cristaux.

Il résulte de ses expériences que, dans la majorité des cas, les ellipses électriques ont leurs grands axes perpendiculaires aux directions de conductibilité calorifique maxima. Il ne faut pas, sans doute, voir là une discordance complète entre la conductibilité électrique et la conductibilité thermique dans les cristaux; la production de ces ellipses dépend de phénomènes plus complexes que la conductibilité superficielle.

Pour obtenir de grandes résistances non-inductives, le professeur Fleming se sert d'un procédé très simple qu'il est intéressant de faire connaître. Il mélange de la plombagine avec de l'argile, en proportions variables selon la résistance à obtenir; il forme avec cette pâte des cylindres qu'il fait ensuite cuire dans un four à poteries.

Un mélange à parties égales de graphite et d'argile présente une résistance spécifique 4000 fois plus considérable que le maillechort. N'oublions pas, toutefois, que ces résistances varient avec la température dans une mesure assez notable.

Pour passer une corde dans un tuyau horizontal, dit le *Cosmos*, les ouvriers emploient souvent un chat; c'est classique. On attache un fil à l'animal; comme il est assez égoïste en général et peu serviable, on n'essaye pas de le convaincre par des raisonnements inutiles; on l'introduit dans le tuyau, de gré ou de force, et, brutalement, on l'oblige à y avancer par les procédés les plus énergiques : le bâton d'abord, puis, à plus longue distance, les cris, voire même les coups de pistolet à l'ouverture du tuyau.

Ce genre d'opérations devenant courant aujourd'hui pour la pose des conducteurs électriques, on s'est décidé à dresser des chiens à cette besogne, qu'ils font sans se faire tant prier, si une récompense les attend le travail achevé. On y emploie de petits chiens terriers; la compagnie Crompton, en Angleterre, en possède un qui est devenu célèbre par son savoir-faire. Il a contribué à la pose d'un bon nombre de milles de conducteurs, à Londres. Sa réputation le fait rechercher en province; il est en ce moment à Brighton où, sans jamais se lasser, il passe consciencieusement par les conduits étroits, tortueux et obscurs, la cordelette avec laquelle les ouvriers tirent ensuite les câbles. Ce chien, nommé Strip a la spécialité d'introduire les fils isolés dans les tubes ayant plusieurs milles de longueur. L'opération se fait d'une façon très simple : on attache le fil au collier de Strip, qui se lance dans le tube et le parcourt dans toute sa longueur, jusqu'à ce qu'il arrive à l'autre extrémité où un ouvrier l'attend, détache le fil et se met à tirer de toute sa force. Le fil qui est attaché à une barre de fer dont la longueur dépasse le diamètre du trou reçoit ainsi le degré de tension désirable. On peut placer aussi dans le tube une série de fils car Strip après avoir ainsi accompli un premier voyage se rend de lui-même à l'autre bout, où il sait qu'on lui donnera quelque os à ronger.

Comme il était facile de le prévoir, l'émotion produite dans le monde savant par les expériences de M. Moissan est des plus grandes. Aussi le colonel Laussedat, directeur du Conservatoire des Arts et Métiers, a-t-il prié le savant chimiste de répéter ses expériences dans une conférence faite dans le grand amphithéâtre des Arts et Métiers. M. Moissan ayant accepté, le public désireux de l'entendre sera initié incessamment aux merveilles de l'obtention chimique du diamant et de la préparation de certains métaux qu'on n'avait obtenus jusqu'ici qu'en quantité infinitésimale.

Quelques exemples pour illustrer la beauté du système de poids et mesures que les Anglais jugent ne pouvoir abandonner qu'à la faveur d'une révolution :

Le poids appelé « pierre » est, quand il s'agit d'un homme, de 14 livres (à 453 gr.), tandis que la même unité de poids pour un bœuf mort n'est que de 8 livres; une « pierre » de fromage est de 16 livres; pour le verre elle n'est que de 5 livres; pour le chanvre à Belfast de 16,75 livres et à Downpatrick de 24 livres. Par contre, le quintal de viande de porc est de 8 livres plus lourd à Belfast qu'à Cork.

Un baril de viande de bœuf est de 200 livres; pour le beurre il est de 224 livres; pour la poudre à canon, de 100 livres, tandis qu'un baril de harengs est de 500 poissons!

Eclairage électrique.

On va installer l'éclairage électrique au nouveau théâtre d'Albi. L'installation sera faite par la Société « la Méridionale ». La même station assurera l'éclairage public de la place du Vigan.

D'autre part, la municipalité étudiera l'installation d'une usine hydraulique pour la production de l'électricité.

A ce propos un journal gazier fait la réflexion suivante :

« Tout en nous félicitant de ce commencement d'éclairage électrique, nous croyons qu'il ne serait pas superflu d'installer au théâtre la canalisation du gaz. On ferait pour notre scène municipale comme dans les cafés de Toulouse, où les fils électriques sont posés sur des appareils à gaz. Des interruptions se produisent parfois dans l'éclairage électrique, nos concitoyens ne seraient pas ainsi exposés, pour assister à la fin d'un spectacle, à avoir recours aux allumettes-bougies ».

Inutile de faire remarquer ce qu'a de baroque cette idée de vouloir à toute force doter l'électricité du dangereux voisinage du gaz. Et puis, les Albigeois préféreront probablement s'exposer au désagrément d'être plongés quelques secondes dans l'obscurité, si tant est que des extinctions soient inévitables, que de courir le danger d'une explosion ou d'un incendie provoqués par le gaz.

Voici réunis, d'après une note de M. Deschamps, des renseignements sur les diverses demandes d'autorisation de canalisation électrique pour le secteur d'éclairage de la rive gauche.

Ces demandes d'autorisation se classent en trois groupes :

1° Demandes de concessions abandonnées par les pétitionnaires;

2° Concessions frappées de déchéance par l'administration;

3° Demandes en instance.

PREMIER GROUPE

Demande de MM. Nouvelle et Geisemberger. — Concession accordée par le conseil municipal. Les conces-

sionnaires n'y ont pas donné suite et ont même effectué le retrait du dépôt qu'ils avaient constitué en vue des frais d'enregistrement.

Demande de M. de Montaud. — Renvoyée par le conseil municipal pour justification complémentaire de ressources. N'a pas été suivie par le demandeur.

Demande de M. Surry-Montaut. — Déchu d'une première concession sur la rive droite, a présenté une nouvelle demande avec emprise sur la rive gauche. Invité à modifier ses propositions. N'a pas suivi.

DEUXIÈME GROUPE

Concession Patin. — Arrêté de concession du 10 décembre 1890, notifié le 29 décembre 1890. Cautionnement de 150 000 francs devant être versé sous peine de déchéance le 29 janvier 1891.

Déchéance prononcée pour défaut de versement du cautionnement, par arrêté du 24 octobre 1892. Cet arrêté n'a provoqué de la part du concessionnaire aucune réclamation.

TROISIÈME GROUPE

Concession Naze. — L'arrêté de la concession Naze remonte au 5 novembre 1890. Il a été notifié le 11 décembre 1890. Ce secteur comprenait : Ve et VIe arrondissements, les îles Saint-Louis et de la Cité, partie des VIIe, XIIIe et XIVe arrondissements.

M. Naze a demandé des délais et a présenté à l'appui une lettre de MM. Schneider et Ce qui le commanditaient. Depuis, M. Naze a versé à la caisse municipale les 300 000 francs de cautionnement. Il a approuvé, sans restriction aucune, le cahier des charges accepté par tous les autres concessionnaires à qui nous avons déjà accordé des canalisations électriques.

M. de Maroussem a saisi directement le conseil municipal d'une demande de concession d'un secteur comprenant la totalité de la rive gauche. Il tient à la disposition de l'administration les plans et détails complémentaires du projet d'exécution ; il s'engage à verser le cautionnement suivant les usages adoptés.

M. J. de Clercy, mandataire spécial de la famille Gaulard, propriétaire des brevets de feu Lucien Gaulard, a sollicité la concession de l'éclairage électrique sur toute la rive gauche de la Seine. Il accepte toutes les conditions du cahier des charges; il ne fait une exception que pour la durée de la concession, qu'il désire voir élever à trente années.

En ce qui concerne la partie financière de l'entreprise, le demandeur ajoute qu'il a groupé les capitaux suffisants pour verser immédiatement le cautionnement et pour constituer une société d'exploitation avec les fonds nécessaires pour commencer les travaux sans retard.

Enfin, la *Société alsacienne de constructions mécaniques* a demandé la concession de la rive gauche tout entière et de l'île de la Cité. Cette demande a été introduite au conseil, avec avis favorable, le 16 juillet dernier. La Société alsacienne a toutefois réclamé diverses atténuations aux conditions générales du cahier des charges.

Télégraphie et Téléphonie.

Nous avons, il y a quelques jours, analysé la première partie du rapport adressé au ministre par M. de Selves, directeur général des Postes et Télégraphes, sur les améliorations apportées dans le service depuis le 1er janvier 1890 jusqu'à fin décembre 1892.

Voici la suite de ce travail; c'est la partie qui concerne l'exploitation télégraphique :

Fils et appareils. — On a posé 2500 kilomètres de fils aériens, dont 400 ont été employés à l'extension des réseaux départementaux. Des appareils Hugues ont été substitués à des appareils Morse sur un grand nombre de conducteurs; sur quelques fils très chargés, les appareils Hugues ont été remplacés par des appareils Baudot. Une ingénieuse disposition a permis de desservir par l'appareil Baudot des fils partagés. Un nouveau câble a été immergé entre Toulon et Ajaccio ; un câble a été posé entre Marseille et Oran. Le réseau international a été développé d'une façon notable. Un second câble a été posé entre Calais et les côtes danoises.

Correspondance télégraphique internationale. — La conférence internationale de Paris a voté un grand nombre d'améliorations dans l'échange des télégrammes. Des conventions ont amené avec différentes nations des réductions notables de tarifs.

Réseau télégraphique municipal. — 709 bureaux municipaux ont été créés; la subvention applicable à la fourniture des appareils a été réduite de 500 à 350 francs.

Transfert du service télégraphique à la poste. — A été effectué dans 102 communes.

Création de centres de dépôt. — Cinq nouveaux centres de dépôt (Caen, Nantes, Limoges, Tours, Nîmes) ont été créés.

Service électrique de Paris-Paris. — La transmission télégraphique des télégrammes taxés au mot de Paris pour Paris a été rétablie le 1er mai 1892.

Lignes d'intérêt privé. — 4871 concessions ont été accordées, ce qui porte le nombre de ces lignes à 10066.

Distribution télégraphique au moyen de vélocipèdes. — A été mise à l'essai dans huit villes importantes.

Personnel. — Il a été créé 69 emplois de commis principaux, 20 de commis, 125 de commis auxiliaires, 50 de dames, 12 de facteurs chefs, 30 de facteurs, 7 de tubistes, 465 de facteurs enfants.

Il nous reste à résumer la partie du rapport qui a trait aux téléphones, aux caisses d'épargne postales, au personnel. Nous donnerons prochainement ce résumé.

Imprimeur-Gérant : V. Nory.

Imprimerie de la Lumière Électrique. — Paris, 31, boulevard des Italiens.

La Lumière Électrique

Journal universel d'Électricité

31, Boulevard des Italiens, Paris

DIRECTEUR : Dr CORNÉLIUS HERZ

XVe ANNÉE (TOME XLVII) SAMEDI 11 MARS 1893 N° 10

SOMMAIRE. — Contribution à la théorie de l'électrolyse par courants alternatifs; Dr Riccardo Malagoli. — Un nouveau procédé électro-calorifique; H. Ponthière. — A propos de la notice sur la corrélation des phénomènes d'électricité statique et dynamique, par M. A. Cornu, de l'Institut; Frank Géraldy. — Hystérésis et viscosité diélectriques; A. Hess. — Chemins de fer et tramways électriques; Gustave Richard. — Chronique et revue de la presse industrielle : Transformateur à perte magnétique réduite Siemens. — Boussole Ritchie. — Accumulateur cellulaire Washburn. — Accumulateurs Michel. — Sur la détermination des défauts d'isolement des canalisations électriques en service, par M. O. Frœlich. — Revue des travaux récents en électricité : Société française de physique (séance du 3 mars 1893). — Société internationale des électriciens (séance du 1er mars 1893). — Propriétés magnétiques du fer pur, par Francis Lydall et Alfred Pocklington. — Analogies entre les formules de mécanique et d'électricité, par MM. F.-C. Bedell et A.-C. Crehore. — Variétés : Le caoutchouc du Haut-Orénoque. — Faits divers.

CONTRIBUTION A LA THÉORIE DE L'ÉLECTROLYSE PAR COURANTS ALTERNATIFS

1. Le phénomène de l'électrolyse par courants alternatifs a été examiné pour la première fois par de la Rive (1), puis par Kohlrausch (2).

La nouvelle importance que lui donne l'application des courants alternatifs à de nombreux usages industriels a appelé sur lui une attention plus approfondie de la part des physiciens modernes, ainsi que le prouvent les importants mémoires de MM. Drechsel (3), Maneuvrier et Chappuis (4), Neyreneuf (5), Ayrton et Perry (6), Kennely (7), Perrine (8), Lynd (9) et plus récemment de Mengarini (10) et de Favero (11).

(1) *Archives de l'électricité*, I, 1841. — *Comptes rendus*, IV, 1837.

(2) *Poggendorff's Annalen*, vol. CXLVIII.

(3) *Ber. d. k. Sæchs. Ges. de Wissensch*, 1886. — *Jour. für prakt. Chemie*, 1884, 2e série, vol. XXIX.

(4) *Comptes rendus*, 1888, CVI, CVII.

(5) *Journal de physique*, 1888, 2e série, VII.

(6) *La Lumière Electrique*, XXIX, 1888.

(7) *The Electrician*, XXI, 1888.

(8) *The Electrician*, XXI, 1888.

(9) *Electrical Review*, XXIII, 1888.

(10) *Atti della R. Academia dei Lincei*, 4e série, VI, 1890. — *The Electrician*, juil. 1891.

(11) *Atti della R. Academia dei Lincei*, 4e série, VII, 1891.

Je m'occuperai seulement des travaux de ces derniers en renvoyant pour l'historique de la question à la complète revue qu'en a fait M. Mengarini au commencement de son mémoire.

2. Laissant de côté des études particulières de quelque intérêt, je rappellerai la partie essentielle du mémoire de Mengarini qui consiste à proposer une théorie dont le principe fondamental est d'admettre que les phénomènes d'électrolyse produits par les courants alternatifs doivent être considérés comme une succession d'autant d'électrolyses ordinaires qu'on met en évidence pendant chaque alternance du courant, en tenant compte nécessairement des conditions de polarisation dans lesquelles on laisse le voltamètre après chaque alternance.

Ce point de départ semble absolument naturel si on rappelle quelques principes fondamentaux, qu'on connaissait déjà, régissant ces phénomènes, et en particulier l'influence de la densité du courant agissant comme dans le cas de l'électrolyse ordinaire.

M. Mengarini a trouvé, à la suite d'une importante série de recherches expérimentales, que la différence de potentiel aux bornes du voltamètre est décalée par rapport à l'intensité, et il a en outre déterminé la grandeur de ce décalage. Dans les conclusions de son intéressant travail il expose de nombreux résultats expérimentaux obtenus

en faisant varier les facteurs des phénomènes entre les limites où pouvait se faire la vérification. Malheureusement il ne donne aucune explication en rapport avec la théorie qu'il avait proposée pour rendre compte des faits qui se produisent.

3. L'exposé de la théorie que M. Mengarini base sur le principe que j'ai énoncé plus haut donnerait lieu à de nombreuses considérations.

Le professeur G. B. Favero s'était proposé de répondre à quelques-unes de celles-ci, et en particulier il avait recherché si les résultats fournis par les calculs de M. Mengarini, ainsi que les conclusions qu'il en a tirées, étaient encore vrais lorsque la force électromotrice de la dynamo à courants alternatifs s'écarte un peu de la forme sinusoïdale, ou encore dans le cas plus général où la force électromotrice de cette dynamo serait une fonction périodique quelconque du temps. M. Favero examina pour cela les effets que la force électromotrice de polarisation du voltmètre produit sur la forme de la courbe de l'intensité du courant, et ses calculs à ce propos rappellent ceux de Kohlrausch exposés dans l'intéressant mémoire que j'ai rappelé plus haut.

Dans ce travail, Kohlrausch se propose de trouver la force électromotrice de polarisation d'un voltamètre parcouru par un courant alternatif donné par une machine magnéto-électrique, et, pour interpréter les lectures de l'électrodynamomètre, qui sont, comme on le sait, proportionnelles à

$$\frac{1}{T}\int_0^t i^2 dt,$$

il se sert de l'intensité du courant qu'il tire de

$$Ri = \frac{ab}{T}\sin\frac{\pi t}{T} - c\frac{di}{dt} - P\int_0^t i\,dt,$$

ou R est la résistance du circuit.

Dérivons les deux membres, nous aurons

$$c\frac{d^2 i}{dt^2} + R\frac{di}{dt} + Pi = \frac{ab\pi}{T^2}\cos^2\frac{\pi t}{T},$$

équation différentielle linéaire du second ordre dont la solution, en négligeant les termes exponentiels, qui s'évanouissent rapidement avec le temps, et en posant

$$\varphi = \frac{T}{\pi}\,\text{arc tang}\,\frac{1}{R}\left(P\frac{T}{\pi} - c\frac{\pi}{T}\right),$$

est de la forme

$$i = \frac{ab}{RT}\cos\frac{\pi\varphi}{T}\sin\frac{\pi(t+\varphi)}{T}.$$

La méthode suivie par M. Favero présente une différence analytique sensible avec celle de Kohlrausch, et suppose une circonstance expérimentale qu'il est utile de remarquer. Tandis que Kohlrausch dans son calcul suppose que le voltamètre est inséré dans le circuit avant la mise en marche de la dynamo, celui de M. Favero, en tirant i de

$$Ri = A\sin\frac{\pi t}{T} - P\int_0^t i\,dt,$$

exige que le courant ait atteint son régime normal avant que le voltamètre soit polarisé.

Cette condition sera remplie expérimentalement si la dynamo étant mise en marche sans que le voltmètre soit inséré dans le circuit, celui-ci y est placé instantanément en le substituant à une résistance de même valeur que celle du voltamètre au moment où le courant passe par zéro.

M. Mengarini considère la variation de l'intensité du courant sur les électrodes sans mettre d'une manière spéciale en évidence dans ses calculs la surface des électrodes.

Il fait en effet usage de la formule de Kohlrausch [1] pour représenter la valeur de la force électromotrice de polarisation du voltamètre :

$$p = P\int_0^t i\,dt$$

M. Favero se sert également de cette formule comme je l'ai déjà dit. Or celle-ci, comme on le verra plus loin, n'est applicable qu'aux petites polarisations, c'est-à-dire telles que $\frac{p^2}{5}$ soit négligeable.

On voit donc déjà combien serait restreint le champ dans lequel s'appliquent les déductions qu'on a essayé de tirer, et d'autant plus que la plupart des électrolytes exigent que le voltamètre soit soumis à une force électromotrice supérieure à un volt avant que les produits électrolytiques puissent se dégager d'une façon visible. Mais alors même qu'il existerait un électrolyte exigeant une force électromotrice de polarisation inférieure à celles pour lesquelles la formule de Kohlrausch peut s'appliquer avec certitude, l'usage de celle-ci dans l'équation qui donne l'intensité du courant porterait à admettre que le voltamètre peut acquérir une

[1] Kohlrausch, Mém. cit., p. 147.

polarisation plus grande que le maximum possible, ce qui évidemment ne peut avoir lieu.

En effet, pour un voltamètre renfermant un tel électrolyte, la formule de Kohlrausch représentera exactement les valeurs de la polarisation pour toutes les valeurs $\int i dt$ inférieures à un maximum correspondant au maximum de polarisation. Mais pour des valeurs de la quantité d'électricité supérieure à cette limite (ce qui est à vérifier s'il s'agit d'électrolyse réelle), la formule de Kohlrausch donnera pour p des valeurs plus grandes que celles que le voltamètre a en réalité. C'est pourquoi dans la formule donnée par la loi d'Ohm, de laquelle M. Favero (comme il a été dit) déduit l'intensité du courant en tenant compte de la force électromotrice de polarisation, manque la condition, vérifiée par l'expérience, que le voltamètre conserve le maximum de polarisation durant le développement apparent des produits électrolytiques.

On déduit de là que les considérations et les calculs de MM. Mengarini et Favero n'ont de signification physique que dans le cas où il n'y a pas d'électrolyse proprement dite, et qu'en outre la quantité d'électricité envoyée dans le voltamètre pendant chaque alternance du courant alternatif doit être très petite pour que sa proportionnalité à la force électromotrice de polarisation chargeant le voltamètre puisse être admise.

Sans rien ajouter à ce qui a été dit, ceci me semble suffisant pour démontrer comment la théorie de l'électrolyse à courants alternatifs n'a pas encore fait un pas au-delà du principe fondamental.

L'objet de ce travail, qui est une étude résumant les faits que j'ai réunis dans deux notes publiées dans les *Atti dell' Accademia Gioenia di Catania* (1), peut s'exposer brièvement ainsi : prendre comme point de départ le principe fondamental rappelé du mémoire de M. Mengarini, c'est-à-dire considérer le phénomène de l'électrolyse à courants alternatifs comme une succession d'électrolyses ordinaires correspondant à chaque alternance du courant, tirer profit des autres études sur la polarisation d'un voltamètre, et rétablir complètement la théorie du phénomène.

(1) *Atti dell'Accademia Gioenia di Scienze Naturali in Catania*, not. I et II, vol. V, 4e série 1892.

Dans quelques-unes des parties de ce travail, il faudra sous-entendre qu'on peut négliger les effets que la force électromotrice variable de polarisation exerce sur la forme du courant. Cette hypothèse fut réalisée dans les expériences de M. Mengarini en introduisant dans le circuit de l'alternateur ou du secondaire d'un transformateur une résistance, sans induction, assez grande. Il peut sembler, en effet, comme le fait remarquer, du reste, M. Favero dans son introduction, que cette hypothèse ne soit pas acceptable non seulement pour les variations de la force électromotrice de la machine, mais bien plus pour celles de l'intensité, surtout dans le voisinage des zéros de celle-ci. Mais il faut bien se rappeler que le phénomène de l'électrolyse dépendant de la quantité d'électricité qui passe dans le voltamètre pendant chaque alternance du courant (comme on le verra mieux plus loin), nous pouvons obtenir les mêmes conditions dans le phénomène de l'électrolyse avec des circuits assez différents; et puisque, à égalité de quantité d'électricité, le voltamètre est toujours soumis aux mêmes variations de la force électromotrice de polarisation, l'influence que celle-ci détermine sur la forme de l'intensité du courant sera d'autant plus faible que la résistance interposée dans le circuit de la dynamo ou du secondaire du transformateur sera plus grande. Il résulte de là qu'on peut admettre qu'en intercalant une résistance assez grande, les variations que l'intensité du courant peut éprouver, par suite de la présence du voltamètre, peuvent être considérées comme rentrant dans l'ordre de grandeur des erreurs d'expériences.

Ce cas, qui est un cas limite du phénomène, se prête plus simplement à l'interprétation, et il a peut-être, au point de vue des applications, une importance plus grande que le cas général. Néanmoins, c'est à ce dernier que se rapporteront les lois que nous établirons.

I. — *Polarisation d'un voltamètre parcouru par un courant direct.*

En 1863, Crova publia un mémoire (1) sur les expériences qu'il avait entreprises dans le but de rechercher la loi déterminant la force

(1) *Annales de Physique et Chimie*, vol. LXVIII, 3e série.

électromotrice de polarisation d'un voltamètre.

Comme expression de ses résultats il donna une formule composée de deux termes, le premier étant une constante (qui serait le maximum de polarisation du voltamètre), et le second une puissance négative de e contenant l'intensité du courant.

Enfin il ne fait, en passant, qu'une brève mention de l'influence de la surface des électrodes [1], de la valeur de la force électromotrice de polarisation, en se réservant d'approfondir cette question dans une nouvelle étude. Mais malgré toutes les recherches que j'ai faites, je n'ai pu trouver aucune trace d'un autre travail de Crova sur cette question.

En 1880, M. A. Bartoli a étudié de nouveau la question [2] en envoyant dans un voltamètre un courant interrompu d'intensité connue; les interruptions de ce courant étaient obtenues et mesurées à l'aide de l'interrupteur Felici, réglé convenablement pour les expériences.

Il trouva que la loi de la polarité galvanique peut être représentée par la formule

$$p = A\left(1 - 10^{-\frac{B}{60s}\int_0^t i\,dt}\right), \qquad (1)$$

où A et B sont des constantes qui, dans le cas d'un électrolyte formé d'eau distillée additionnée d'acide sulfurique au cinquième, ont respectivement pour valeur

2,004 et 8,38825.

s représente la surface de la face interne des deux électrodes égales, dont les faces externes sont recouvertes de substance isolante.

Nous remarquerons que s étant exprimée en millimètres carrés, et l'intensité du courant en millionièmes de l'unité de Jacobi, la force électromotrice sera exprimée en daniells.

M. Bartoli a trouvé que les constantes A et B sont indépendantes de la forme des électrodes et de leur épaisseur à égalité de surface; elles varient, du reste, à peu près insensiblement avec la surface. La nature des électrodes n'a non plus aucune influence sur ces constantes, pourvu que ces électrodes soient inattaquables par l'électrolyte ainsi que par les élements de la décomposition, et pourvu aussi qu'elles ne soient pas poreuses, ce qui rendrait très difficile la mesure de surface.

La température de l'électrolyte, qui fut poussée jusqu'à 250°, ne donna lieu à aucune variation dans les deux constantes A et B.

M. Bartoli étudia aussi le cas où les surfaces des électrodes sont différentes et démontra [1] que « la force électromotrice de polarité produite par le passage d'une quantité déterminée d'électricité dans un voltamètre à électrodes inattaquables et de surfaces aussi différentes qu'on veut est égale à la somme des forces électromotrices de polarité de l'électrode positive et de l'électrode négative. »

Ces forces électromotrices de polarisation étaient mesurées en couplant successivement chacune des électrodes avec une électrode égale, déchargées, puis immergées dans le même électrolyte.

Désignons par s_1 et s_2 les surfaces des deux électrodes, et par p_1 et p_2 les polarisations de chaque électrode, et telles que

$$p = p_1 + p_2.$$

On a :

$$p = \frac{A}{2}\left(1 - 10^{-\frac{B}{s_1}q}\right) + \frac{A}{2}\left(1 - 10^{-\frac{B}{s_2}q}\right) \qquad (2)$$

en posant :

$$q = \frac{1}{60}\int_0^t i\,dt.$$

En opérant sur des électrolytes différents, on peut vérifier les mêmes lois et obtenir les constantes A et B, qui varient avec la nature de l'électrolyte, mais toutefois de façon à ce que le produit A B reste constant.

L'expression (1), en tenant compte du signe — qu'il faut attribuer, dans le cas actuel, à la polarisation pour les valeurs positives de i, peut aussi s'écrire

$$\log\left(1 + \frac{p}{A}\right) = \frac{-B}{60 \log e}\int_0^t i\,dt.$$

Substituons au premier membre son développement en série, en nous bornant au premier terme; nous aurons :

$$p = \frac{-AB}{60\,s \log e}\int_0^t i\,dt,$$

(1) Crova, Mém. cit., p. 437 et 438.

(2) *Nuovo Cimento*, 3e série, vol. VII, p. 234. — Beiblætter, Bd IV.

(1) Bartoli, Mém. cit., p. 269.

formule approchée par excès à moins de $\frac{p^2}{2A}$, puisque la série logarithmique a ses signes alternés.

Elle n'est autre que la formule donnée par Kohlrausch [1] dans son Mémoire, et elle peut être regardée comme rigoureuse tant qu'on a affaire à des faibles polarités, comme celles obtenues avec les dépôts sensiblement invisibles que produisait sa machine magnéto-électrique.

Rappelons que

$$\text{Daniell} = 1{,}12 \text{ volt}$$
$$\text{ampère} = 10{,}60 \text{ Jacobi},$$

et

$$\log e = 0{,}434,$$

les valeurs de A et de B pour un électrolyte formé d'une solution d'acide sulfurique au cinquième seront alors :

$$A = 2{,}2445 \qquad B = 88{,}91545,$$

et la force électromotrice de polarisation sera maintenant exprimée en volts, l'intensité étant exprimée en millionièmes d'ampère.

De sorte que la formule de Kohlrausch dans laquelle la surface est mesurée en millimètres carrés, et qui comprend uniquement la partie interne de chacune des deux électrodes égales qui plonge dans le liquide, devient

$$p = -\frac{7{,}66}{s}\int_0^t idt,$$

et l'erreur commise sur la valeur p ainsi déterminée est inférieure à

$$\frac{p^2}{4{,}48}.$$

Dans le cas de deux électrodes inégales, en se rappelant le signe qui doit être attribué à la polarisation, on a de même :

$$\log\left(1+\frac{2p_1}{A}\right)\left(1+\frac{2p_2}{A}\right) = \frac{-B}{60\log e}\left(\frac{1}{s_1}+\frac{1}{s_2}\right)\int_0^t idt.$$

Développant les logarithmes en série, en nous bornant à la première puissance, nous aurons :

$$p = \frac{AB}{120\log e}\left(\frac{1}{s_1}+\frac{1}{s_2}\right)\int_0^t idt.$$

Le degré d'approximation dans ce dernier cas, ou encore le champ dans lequel le phénomène sera rigoureusement représenté, est défini par les mêmes limites que précédemment.

[1] Kohlrausch, Mém. cit., p. 147.

Cette formule n'est encore autre que celle de Kohlraush étendue au cas de deux électrodes de surfaces différentes, et elle se réduit bien à celle-ci pour $s_1 = s_2$.

De sorte que, en se rappelant la propriété démontrée par M. Bartoli, relativement à sa formule de la polarisation, nous pouvons affirmer que la mesure des petites polarisations, de façon que la quantité

$$\frac{p^2}{4{,}48}$$

soit négligeable, pourra se faire par la formule

$$p = -3{,}84\left(\frac{1}{s_1}+\frac{1}{s_2}\right)\int_0^t idt,$$

en prenant l'électrolyte et les unités indiquées plus haut.

La valeur de la constante numérique déduite des expériences de Kohlrausch [1] fut de

$$7{,}63,$$

nombre assez voisin de celui obtenu par M. Bartoli, si on tient compte des méthodes absolument différentes employées par les deux habiles expérimentateurs.

6. L'étude que j'ai entreprise sur l'électrolyse exige la considération de polarisations très grandes dans le voltamètre, c'est-à-dire voisines et égales au maximum qu'on peut obtenir.

La formule de M. Bartoli, bien que suffisant dans un intervalle beaucoup plus grand que celui considéré par Kohlrausch, fut déterminée en étudiant de préférence des petites polarisations.

On voit en effet, par un examen soigneux des tables des valeurs portées dans le Mémoire de M. Bartoli [2], que les plus grandes différences entre les valeurs fournies par l'expérience et celles calculées à l'aide de la formule correspondent aux plus fortes polarisations; et de même, on vérifie constamment que les valeurs calculées pour les polarisations voisines du maximum sont toutes supérieures à celles que fournit l'observation.

Ceci se comprend facilement en se rappelant que la perte de polarisation à circuit fermé, c'est-à-dire durant la charge même, est proportionnelle à la valeur de la polarisation, comme l'a montré Bernstein [3].

[1] Mengarini, Mém. cit., p. 567.
[2] Bartoli, Mém. cit., p. 251 et suiv.
[3] *Pogg. Ann.*, 153, p. 177. — 1875.

Remarquons, en outre, que la formule de M. Bartoli, pour des raisons inhérentes à la méthode employée, suppose qu'il faudrait un temps infini pour que, même avec un courant assez grand, le terme exponentiel soit algébriquement nul, et que le voltamètre puisse atteindre son maximum A.

Ceci fera comprendre comment le cas du maximum de polarisation est le cas limite de la formule de M. Bartoli, et nous permettra aussi d'attribuer une exactitude suffisante, pour représenter les grandes polarisations dans un voltamètre, à la formule

$$p = A\left(1 - 10^{-\frac{s(q_0 - q)}{aq}}\right)$$

avec

$$q = \int_0^t i\,dt.$$

Si on pouvait déterminer par une expérience directe (ce que je n'ai pas encore réussi à faire) la quantité q_0 d'électricité qui, suivant les différents électrolytes, est capable de communiquer le maximum de polarisation à un voltamètre, qui, outre les propriétés annoncées plus haut, a des électrodes de 1 millimètre carré, alors serait déterminé dans l'équation

$$s\,q_0 = \int_0^\tau i\,dt$$

l'instant τ à partir duquel, le courant cessant de donner naissance au potentiel différentiel, a commencé le dépôt des produits électrolytiques.

7. Quant aux valeurs du maximum de polarisation, M. Le Blanc en a déterminé récemment une série importante [1].

Je dois faire remarquer qu'il avait adopté pour ces expériences un voltamètre formé d'un tube en U, circonstance assez peu favorable pour obtenir de bons résultats; il eût été préférable d'employer un voltamètre tel que le courant arrive normalement sur les électrodes.

II. — *Polarisation d'un voltamètre parcouru par un courant alternatif.*

8. Dans tout ce chapitre je supposerai, comme je l'ai dit dans l'introduction, que la résistance mise en circuit avec la dynamo est assez grande pour qu'on puisse considérer comme négligeables les effets produits par la polarisation du voltamètre sur le courant qui traverse le circuit.

Nous aurons quatre cas différents à distinguer.

Supposons que T représente la durée d'une alternance du courant alternatif, la quantité qui traverse le voltamètre pendant une alternance sera donnée par

$$s\,q = \int_0^T i\,dt,$$

en la rapportant à une surface de 1 millimètre carré pour chaque électrode.

Soient q_0 la quantité d'électricité qui doit traverser la même surface pour que le voltamètre ait atteint son maximum de polarisation, et τ l'intervalle de temps au bout duquel l'intensité i (toutes les fois que le courant circule dans le même sens) arrive à produire ce maximum; les différents cas qui peuvent se présenter sont :

$q < q_0$	$T < \tau$
$q^0 < q < 2\,q_0$	$\frac{T}{2} < \tau < T$
$q = 2\,q_0$	$T = 2\,\tau$
$q > 2\,q_0$	$T > 2\,\tau$

Pour justifier cette manière d'opérer et pour en faire comprendre l'importance, je dirai immédiatement que l'électrolyse par courants alternatifs n'est possible que dans le dernier cas.

9. Commençons par le premiers cas et supposons que le voltamètre soit intercalé brusquement dans le circuit parcouru par le courant alternatif, en le substituant à une résistance égale au moment précis où l'intensité passe par zéro.

Si on a seulement

$$q < q_0,$$

la formule de M. Bartoli peut servir à déterminer la force électromotrice de polarisation à chaque instant. De plus, si on suppose que l'intensité suit la loi du sinus, on a

$$i = \frac{A}{R}\sin\frac{\pi t}{T},$$

et la polarisation sera donnée par

$$p = A\left(1 - 10^{\frac{BAT}{\pi s R}\left(\cos\frac{\pi t}{T} - 1\right)}\right).$$

[1] *Zeitschrift für physikalische Chemie*, t. VIII, p. 3, 1891.

La courbe O, M, 2 T (fig. 1) représente la valeur de la force électromotrice de polarisation pour un intervalle de temps égal à celui d'une période complète. Dans ce cas, cette force électromotrice n'est jamais positive, et il en est de même pour les alternances suivantes.

Ceci dépend de ce fait que tandis que dans la première alternance la force électromotrice de polarisation est représentée par l'arc O M; pendant la seconde, cette polarisation sera représentée (en tenant compte du signe de i) par la portion T M_1 qui est la symétrique de O M par rapport au point 2 T, et avancée d'une alternance. En composant les ordonnées de cet arc T M_1 avec la polarisation T M qui existe au temps T, on voit comment dans la seconde alternance le courant renversé agit comme dépolarisant.

On arriverait encore aux mêmes conclusions dans le cas où l'intensité ne suit pas la loi du sinus. La forme de la courbe représentant la force électromotrice de polarisalion sera alors un peu différente; mais pour chaque cas les maxima de p correspondront aux temps T, 3 T, 5 T..., de même qu'ils s'annuleront aux temps O, 2 T...

Si l'on a $q = q_0$, la formule de M. Bartoli ne peut plus servir pour déterminer la loi des variations de la différence de potentiel aux bornes du voltamètre pendant la durée de chaque alternance, mais on arrive toujours à ce résultat que la courbe de polarisation affecte un caractère pulsatoire et se trouve d'un seul côté de l'axe. Cette courbe a ses maxima aux points T, 3 T, et ses zéros aux points O, 2 T; enfin elle est symétrique par rapport à ses maxima.

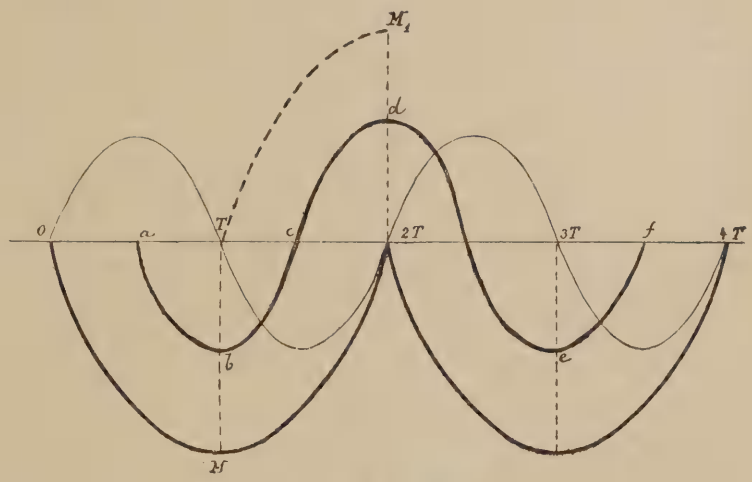


Fig. 1.

Si l'on introduit le voltamètre dans le circuit, non plus au temps zéro, mais au temps T, ce que nous venons de dire nous porte à conclure que la courbe de polarisation sera pulsatoire et située seulement au-dessus de l'axe des temps. Les points zéro et les maxima seront interchangés avec ceux de la courbe du cas précédent.

Enfin si la mise du voltamètre sur le circuit à courants alternatifs a lieu à un instant quelconque de la phase, on aura une courbe comprise entre l'un des deux types précédents, affectant un caractère pulsatoire et étant située à la fois au-dessus et au-dessous de l'axe des temps, en donnant la prédominance à l'un des deux effets suivant les conditions initiales.

Mais ces dernières ont l'apparence d'une instabilité assez forte. L'importance de l'alternance initiale, si on tient compte du temps employé pour mettre le voltamètre en circuit, ne pourra se révéler après un certain nombre d'alternances, de sorte que nous pouvons affirmer que dans le premier cas, après un très grand nombre d'alternances, la forme de la courbe de la force électromotrice de polarisation du voltamètre sera représentée par la courbe a, b, c, d de la figure 1. La quantité d'électricité qui passe dans le voltamètre durant

une alternance quelconque est employée pour la première moitié à dépolariser le voltamètre, et pour la seconde à lui communiquer une polarisation égale, mais de sens opposé.

Ce résultat a été indiqué par M. Mengarini et déduit d'une façon rigoureuse par M. Favero; mais leurs considérations, basées sur la formule de Kohlrausch, ne s'appliquent, comme nous l'avons dit, qu'aux très faibles polarisations.

10. Considérons maintenant le second et le troisième cas, c'est-à-dire en partant de

$$q > q_0$$

pour s'arrêter à

$$q = 2\,q_0,$$

et supposons d'abord que l'introduction du voltamètre dans le circuit du courant alternatif se fasse au moment où l'intensité du courant passe par zéro.

Le cas précédent s'arrête à $q = q_0$, c'est-à-dire à $\tau = T$; supposons maintenant que q augmente, le point τ (fig. 2) se déplacera vers $\frac{T}{2}$, qu'il atteindra pour $q = 2\,q_0$.

La quantité d'électricité qui pénètre dans le voltamètre pendant la première alternance du courant est telle que la courbe représentant la force électromotrice de polarisation après une certaine portion O a devient parallèle à l'axe des temps pour un intervalle égal à $T - \tau$. Pendant cet intervalle de temps il y a dégagement de produits provenant de l'électrolyte, comme dans l'électrolyse ordinaire. Cet intervalle sera maximum et égal à $\frac{T}{2}$ lorsque q sera égal à $2\,q_0$.

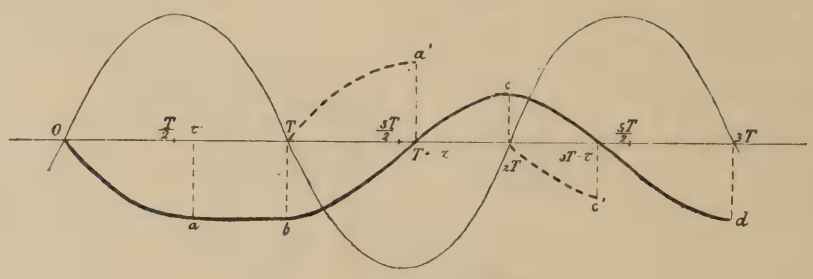


Fig. 2

Au temps T le courant change de signe, et si on ne tient compte de la polarisation précédente, il donnera naissance à une force électromotrice de polarisation et représentée par T a symétrique de O a par rapport à l'axe des temps: mais si on tient compte qu'au temps T il y aura un maximum de polarisation, la courbe continuera vers b, et de b se rapprochera de zéro, qu'elle atteindra au temps $T + \tau$.

Dans la portion restante de la deuxième alternance, section qui ne sera jamais supérieure à $\frac{T}{2}$, le voltamètre sera polarisé en sens contraire à la polarisation correspondante à la première alternance, et si on n'a pas encore atteint $q = 2\,q_0$, on aura au point T une ordonnée $\overline{2\,T\,c}$ inférieure à T b qui représente le maximum de la polarisation correspondant à la saturation des électrodes.

Une simple inspection de la figure montre ce qui se passe ensuite. On voit que dans ces circonstances le voltamètre a des polarisations différentes dans les deux sens: celles qui correspondent aux alternances d'ordre impair atteignent toutes la valeur maxima; celles qui correspondent aux alternances paires sont inférieures au maximum, si ce n'est que quand q est égal à $2\,q_0$. Ces maxima correspondent tous à l'instant où l'intensité du courant change de signe.

Les zéros de la courbe représentant la force électromotrice de polarisation à chaque instant sont compris dans la seconde moitié des alternances paires et dans la première moitié des alternances impaires (sauf pour la première). Dans le cas où $q_0 = 2\,q$, ces zéros coïncident avec les milieux des alternances; les forces électromotrices sont égales, dans les deux sens, au maximum que peut prendre le voltamètre. Dans ce cas, la moitié de la quantité d'électricité qui passe durant une alternance quelconque du courant est employée à dépolariser le voltamètre

tandis que l'autre moitié lui communique une polarisation maxima dans le sens opposé.

En un mot on voit que l'électrolyse reste possible et est limitée par la première alternance seule du courant.

Tout ceci est limité au cas où le voltamètre est inséré dans le circuit au moment où le courant s'annule.

Pour le cas

$$q_0 < q < 2q_0,$$

en conservant à τ sa signification, on comprend facilement que si le voltamètre est mis en circuit à un instant quelconque de l'intervalle o à $T - \tau$, il possede au temps T la polarisation maxima, de sorte que l'électrolyse manquant ou étant limitée à celle correspondant à la première phase, la forme de la courbe représentative de la polarisation sera encore représentée par la courbe indiquée par la figure 2.

Si maintenant le voltamètre est introduit dans le circuit à un instant appartenant à l'intervalle τ à T, il aura à la fin de la première alternance une polarisation plus ou moins grande qui sera rapidement détruite au commencement de la deuxième alternance. Il restera dans cette seconde alternance une certaine quantité d'électricité qui traversant le voltamètre lui communiquera non seulement le maximum de polarisation, mais encore empêchera quelquefois un dégagement visible des produits de l'électrolyse, et, en un mot, toujours inférieurs à ceux indiqués précédemment pour la première phase.

Tout ceci est représenté par la courbe *a'*, *b'*, *c'*... de la figure 3.

A partir du temps 2 T, la courbe deviendra

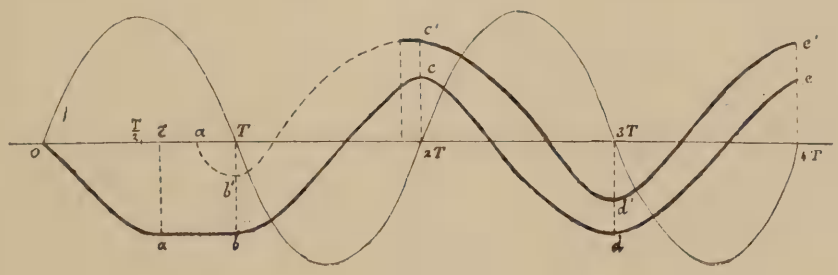


Fig. 3

uniforme et oscillera inégalement au-dessus et au-dessous de l'axe des temps, comme l'indique la courbe *c'*, *d'*, *e'*... symétrique de la courbe *c*, *d*, *e*... (correspondant au cas où le voltamètre est introduit dans l'intervalle de o à $T - \tau$) par rapport à l'axe des temps et déplacée d'une phase par rapport à l'intensité du courant.

Dr Riccardo Malagoli.

(*A suivre.*)

UN NOUVEAU PROCÉDÉ ÉLECTRO-CALORIFIQUE

L'avenir réservé au courant électrique en métallurgie ne doit plus être mis en doute par personne.

L'aluminium électrolytique, qui occupe seul le marché aujourd'hui, le cuivre extra pur fourni par le raffinage dans les cuves voltamétriques, le développement pris en Amérique par certaines applications de la soudure par rapprochement sont là pour ouvrir les yeux de ceux qui s'obstineraient encore à ne pas voir. Au surplus, nous faisons allusion ici à une croyance qui compte beaucoup plus d'adeptes que de sceptiques.

Dans le domaine de l'électricité, une idée nouvelle est toujours bien accueillie, si paradoxale qu'elle puisse paraître à première vue; les surprises que ses devancières nous ont parfois réservées nous ont en même temps habitués à la circonspection et comme à une sorte de respect que nous n'éprouvons pas toujours pour les nouveautés signalées par les savants et les chercheurs dans les autres champs de l'activité scientifique. Le but de cette note est de faire connaître aux lecteurs de *La Lumière Electrique* une de ces idées, dont on ne contestera certes pas l'originalité. Nous voulons parler du pro-

cédé breveté par MM. Hoho et Lagrange, et appelé par ses auteurs électro-hydrothermique [1].

I. — Principe du procédé.

Qu'on imagine une cuve en matière isolante contenant un bain électrolysable, une anode inattaquable à grande surface A (fig. 1) et une cathode que nous supposerons être une barre de fer C. Si le courant est livré a ce voltamètre à partir de la force électromotrice minima exigée pour la dissociation, on observe, sous des valeurs croissantes de cette force électromotrice, la succession des phénomènes suivants :

1. Phénomènes ordinaires de l'électrolyse;
2. Bouillonnement intermittent du liquide autour de la cathode:

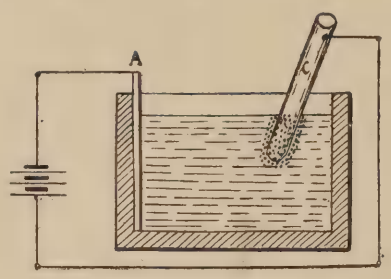


Fig. 1

3. Bouillonnement bien accentué, formation de points lumineux à la surface de la cathode. Le courant est intense et variable, le dégagement gazeux abondant;
4. Diminution du bouillonnement, accroissement du nombre de points lumineux;
5. Réunion des points lumineux en une gaine lumineuse entourant la partie immergée de la cathode. — *L'épaisseur de cette enveloppe*, due à une couche de gaz de l'électrolyse mélangé de vapeur provenant du liquide, peut atteindre de *2 à 5 millimètres ; le courant est devenu moins intense et plus fixe*, le dégagement gazeux a diminué en conséquence;
6. Echauffement rapide de la cathode au contact de la gaine lumineuse. *Si la force électromotrice est assez élevée, l'électrode active peut entrer en fusion au bout de quelques secondes*, et l'on croit assister à la réconciliation de ces deux éléments ennemis dès le commencement du monde : l'eau et le feu!

Si c'est l'électrode à grande surface qui se trouve reliée au pôle négatif de la source, le phénomène se produit encore, sauf l'effet lumineux à la barre anode, qui devient incandescente et est attaquée par le liquide.

Ces phénomènes s'expliquent d'eux-mêmes.

Au début, le courant, assez faible d'abord, produit l'électrolyse du liquide, puis, à mesure que la force électromotrice augmente, l'intensité elle-même croît de plus en plus, le phénomène électrolytique et conséquemment le dégagement de gaz sur l'*électrode active* deviennent plus accentués. Bientôt l'enveloppe gazeuse (hydrogène dans le cas d'un bain d'acide sulfurique étendu) dans laquelle se trouve plongée la cathode a acquis une épaisseur appréciable et dès lors introduit dans le circuit une *résistance additionnelle* d'où résulte la chute d'intensité constatée bientôt. Quant à la force électromotrice, on l'a maintenue et même on l'a fait croître, nous l'avons vu, en agissant sur la source. Cette gaine gazeuse va donc prendre un accroissement de chaleur réglé par la formule de Joule et qui, grâce à sa grande résistance, pourra être considérable, bien que l'intensité soit faible. La résistance de l'enveloppe gazeuse étant incomparablement supérieure à celle du reste du circuit, c'est là, dans la gaine elle-même, c'est-à-dire au contact de la cathode et dans son voisinage immédiat, que se produit, en même temps que la chute presque intégrale du potentiel, à peu près toute la chaleur donnée par la partie du courant — et c'est de loin la plus considérable — qui n'est pas absorbée par l'électrolyse. Quant à la coloration de la gaine, on peut l'expliquer par la présence de particules du liquide en vapeur et de particules solides arrachées à la cathode.

Remarquons que, grâce à la précaution prise de donner à l'anode une grande surface, le gaz qui pourrait s'y accumuler (oxygène dans le cas d'un bain sulfurique) se dégage beaucoup plus aisément et ne recouvre l'*électrode passive* que d'une couche, toujours remplacée sans doute comme celle de la cathode, mais dont la résistance, grâce à son étendue et à sa faible épaisseur, pourra être négligée en comparaison de celle de la gaine entourant l'électrode active.

[1] Les brevets de MM. Hoho et Lagrange sont exploités par la société anonyme *l'Electrique*, de Bruxelles.

C'est donc à celle-ci que se produit la chute presque totale du potentiel et la majeure partie de la chaleur fournie par le courant.

Remarquons encore que si le bain est bien choisi, le chauffage de la barre pourra se faire dans un milieu *oxydant* (barre anode active) ou dans un gaz *neutre ou réducteur* (barre cathode active), à l'abri de toute chance d'oxydation et dans des conditions d'autant meilleures que les premiers instants de passage du courant produisent par réduction un *décapage* parfait.

Enfin, on entrevoit la possibilité de combiner peut-être l'action de la chaleur avec celle du liquide ambiant.

Voilà, certes, on en conviendra, une *application assez inattendue de la polarisation.*

II. — Rendement.

D'après les auteurs, la gaine lumineuse se produit sous des forces électromotrices qui, pour certains bains assez conducteurs, descendent à moins de 100 v, tandis que, pendant la durée du phénomène, l'ampèremètre marque quelques ampères par centimètre carré de la surface immergée de la cathode. Ainsi, dans un bain de carbonate de potassium à 10 o/o en poids avec cathode en fer de 10 millimètres de diamètre enfoncée de 10 centimètres dans le liquide, le phénomène se passe fort bien sous 123 v, et le courant a une intensité de 100 A (1).

Dans ces conditions, la résistance totale du circuit est donc 1,25 o, soit environ 40 o par centimètre carré de la surface de cathode en contact avec le liquide. Cette résistance, sauf quelques centièmes d'ohm, est formée par la gaine gazeuse.

La partie immergée de la barre cube 7855 millimètres cubes et pèse environ 61 grammes. Un kilog. de fer exige pour se fondre environ 250 calories ordinaires ; 61 grammes absorberont à la fusion

$$15{,}25 \text{ calories ou } 15{,}25 \times 4200 = 64050 \text{ J}$$

c'est-à-dire 1050 J par gramme de fer.

Les auteurs déclarent un *rendement calorifique de* 0,50, soit 0,45 en comptant pour la dynamo sur un rendement de 0,90. La dépense d'énergie est donc pour la barre de fer en question :

$$\frac{E\,I\,t}{0{,}45} = \frac{125 \times 100 \times t}{0{,}45} = \frac{64\,050}{0{,}45} = 142\,333 \text{ J},$$

et la durée de la fusion

$$t = \frac{142\,133}{125 \times 100} = 11 \text{ secondes environ.}$$

D'après les derniers renseignements à notre connaissance sur le procédé Thomson-Houston qui fonctionne aux ateliers de l'*Electro Forging C°*, à Boston, on peut chauffer au rouge blanc en deux minutes une barre de fer de 25 millimètres de diamètre et de 30 centimètres de longueur, avec un moteur de 40 chevaux. En supposant la barre non seulement chauffée, mais fondue, cela correspondrait, pour cette barre pesant 1150 grammes, à

$$736 \times 40 \times 60 \times 2 = 3\,552\,800 \text{ J},$$

ou

$$\frac{3\,532\,800}{1150} = 3071 \text{ J par gramme de fer,}$$

et à un *rendement calorifique* de

$$\frac{1050}{3071} = 0{,}34.$$

En tenant compte de la chaleur latente de fusion, ce chiffre serait réduit à 0,30 environ.

Mais conservons le premier chiffre et appliquons ce rendement au cas d'une barre de 10 centimètres de longueur et 10 millimètres de diamètre, comme celle qui serait, si le rendement indiqué est exact, fondue en 11″ sous 125 v et 100 A par le procédé électro-hydrothermique.

L'énergie totale consommée à la forge Thomson-Houston serait

$$I^2 R\,t = \frac{64\,050}{0{,}34} = 188\,382 \text{ J},$$

R résistance de la barre égale 0,000045 o.

Pour effectuer l'opération en 11″, il faudra donc un courant d'intensité

$$I = \sqrt{\frac{188\,382}{0{,}000045 \times 11}} = 19\,500 \text{ A environ.}$$

C'est à peu près l'intensité pour les forges courantes de la compagnie Thomson-Houston.

La force électromotrice est donnée par la formule d'Ohm :

$$E = IR = 19\,500 \times 0{,}000045 = 0{,}88 \text{ v.}$$

Si le rendement indiqué par MM. Hoho et Lagrange est exact, ce petit calcul fait bien res-

(1) Dans cette note, nous désignons les unités ohm, volt, ampère, joule par leur lettre initiale en petites capitales, selon le vœu du congrès de Francfort.

sortir les avantages du nouveau procédé sur la soudure électrique par rapprochement. La différence de rendement s'expliquerait par l'intensité excessive des courants desservant les forges des inventeurs américains. En dépit d'un développement de conducteurs réduit à son minimum, puisque la forge est comme entée sur le transformateur, il en résulte des pertes sérieuses de chaleur dans le circuit secondaire et dans les mâchoires que l'on est souvent forcé de rafraîchir par une circulation d'eau froide. A cette première cause vient s'ajouter l'énergie perdue dans la transformation. Le contact des pièces à souder avec les mâchoires est d'ailleurs fort difficile pour ces courants extra-intenses, qui vont jusqu'à 70 00 A dans les grosses forges, et cet inconvénient suffirait seul à donner la préférence au nouveau procédé, *s'il fonctionne d'une manière satisfaisante.*

III. — Consommation de charbon au moteur.

Nous avons vu que l'énergie théorique à dépenser pour fondre 1 kilog. de fer est environ 250 calories ordinaires, ou

$$250 \times 4200 = 1\,050\,000 \text{ J},$$

ou

$$\frac{1\,050\,000}{736} = 1426 \text{ chevaux-vapeur.}$$

ou

$$\frac{1426}{3600} = 0{,}39 \text{ cheval-heure.}$$

Ce qui correspond à

$$0{,}39 \times 1500 = 585 \text{ gr. de charbon brûlé sous la chaudière.}$$

Cette dépense est dans le procédé électrohydrothermique

$$\frac{585}{0{,}45} = 1300 \text{ grammes,}$$

et dans le procédé Thomson-Houston

$$\frac{585}{0{,}34} = 1720 \text{ grammes.}$$

En rapprochant ces chiffres des consommations correspondantes données par les modes de fusion ordinaires, nous ne pouvons que répéter l'appréciation déjà énoncée dans notre *Traité d'électrométallurgie* (1), appréciation d'autant plus applicable au procédé nouveau, qu'*il se prête fort mal à la réception du métal fondu.* « Les procédés électriques de fusion ne sont guère possibles avec les moteurs à vapeur, mais seulement à l'aide de dynamos actionnées par les forces naturelles ». Pour d'autres applications, on arrivera peut-être à une conclusion toute différente, à cause de certains avantages spéciaux que procure le mode électrique.

IV. — Conditions spéciales. — Matériel approprié aux diverses applications.

L'installation comprendra :

1. Une *cuve-foyer* en bois pour les petites dimensions, en maçonnerie cimentée pour le travail des grosses pièces ; une anode en charbon ou formée d'une feuille de plomb épaisse de 5 millimètres, qu'on pourra protéger contre tout contact avec la cathode par un cloisonnement à jour en matière isolante (un treillis d'osier paraît convenable pour remplir ce but).

2. *Un générateur de courant*, dynamo à courant continu desservant la cuve directement ou par l'intermédiaire d'une batterie d'accumulateurs. Les courants alternatifs, peu propres aux manifestations électrolytiques, ne conviennent pas ; ils sont d'ailleurs beaucoup plus dangereux à manier.

3. *Un appareil de réglage.* Dans le cas de la dynamo reliée directement à la cuve, ce sera, comme toujours dans des cas semblables, un rhéostat interposé dans le shunt des électros, à l'aide duquel on modifiera à la main et selon le besoin le champ magnétique. Dans le cas d'une batterie secondaire, un commutateur permettra d'opérer avec un nombre de boîtes convenable à partir du groupe d'éléments qui fournit une force électromotrice de 80 v environ.

Pour bien faire saisir l'importance du réglage, supposons qu'il s'agisse du chauffage dans un milieu réducteur. On immerge lentement la pièce cathode ; le gaz réduit les oxydes qui pourraient la recouvrir, arrache les parties réduites et produit un décapage progressif à mesure qu'elle descend. Le travail de décapage, quand

(1) Paris, Gauthier-Villars ; Louvain, Peeters-Ruelens, 2e édition.

il est accompli par le courant, exige un surcroît de force électromotrice qu'on réduit à son minimum aussitôt que la pièce est bien nettoyée. Il est à conseiller, cela va de soi, de livrer au bain le métal décapé d'avance. Quand, l'opération étant terminée, on va retirer la pièce, il faut réduire le courant pour éviter les inconvénients qui résulteraient de la localisation de la gaine gazeuse et de la chaleur sur des sections de plus en plus faibles. Sans cette précaution, l'extrémité émergeant en dernier lieu pourrait entrer en fusion. Il sera prudent d'ailleurs de retirer la barre chauffée aussi brusquement que possible, en même temps qu'on la remplacera par une autre barre froide mise en dérivation sur la première. On arrivera ainsi à uniformiser l'énergie consommée dans la mesure du possible.

4. *Le bain* dépendra uniquement du travail à exécuter. En général, il devra être assez conducteur, car la force électromotrice nécessaire pour former la gaine est d'autant plus élevée que la conductibilité du liquide est plus faible, sans toutefois lui être proportionnelle. Ainsi, tandis qu'une solution de carbonate de potassium à 10 o/o en poids n'exige que 80 v., elle en demande 400 quand elle ne contient que 1 o/o du même sel.

Comme la conductibilité est maxima quand le liquide est aux environs de son point d'ébullition, il y a lieu de voir s'il ne serait pas avantageux de l'y maintenir, au risque de produire une évaporation à laquelle il faudrait obvier. Le bain d'ailleurs s'appauvrit de plus en plus; en le régénérant d'une façon continue, on parerait à la fois aux deux inconvénients. Ce résultat serait obtenu par une circulation analogue à celle que M. Marchese avait établie dans le traitement des mattes cuivreuses par son procédé.

Peut-être ne sera-t-il pas inutile de rechercher si, par des liquides convenablement choisis, on ne pourrait ajouter à l'action calorifique une action oxydante ou réductrice, ou combiner l'action chimique du bain avec celle du courant pour réaliser l'une ou l'autre application du domaine de la chimie industrielle.

Selon les desiderata, on pourra être amené à apporter à la cuve des modifications profondes. Pour localiser le chauffage, par exemple, on songera tout d'abord sans doute à recouvrir d'une *épargne isolante* les parties qui doivent rester froides, mais on pourra tenter de remplacer le liquide par une matière réfractaire, inattaquable et poreuse telle que l'amiante, imbibée du sel à électrolyser, appliquée contre la partie de la pièce à chauffer et pressée contre elle par une plaque anodale; ou bien à lancer sur la portion à chauffer le liquide en vapeur sortant d'un tube métallique relié à la source d'électricité.

Il va de soi que pour des matières en morceaux il y aurait lieu d'essayer le chauffage *en vrac*, c'est-à-dire de les enfermer dans une caisse métallique formant cathode et plongée dans le bain. A première vue, il faut toutefois reconnaître que ces expédients paraissent ne pas présenter beaucoup de chances de succès.

5. *L'outillage* sera approprié au genre d'application : pour le forgeage, une presse à souder, un pilon pour le parachèvement. Il y a lieu d'étudier les dispositions qui permettraient d'opérer le rapprochement et la liaison des pièces dans le bain même, à l'abri de toute chance d'oxydation. Les deux pièces seraient placées faces à souder en regard et reliées à la borne négative, chacune directement; leur rapprochement ne serait opéré qu'après qu'on les aurait isolées de celle-ci. Mais alors il faudra que les barres traversent les parois de la cuve, et l'on se heurte à la difficulté très sérieuse de maintenir l'étanchéité aux endroits traversés.

Une des applications les plus séduisantes du procédé nouveau est la trempe de l'acier. La pièce étant employée comme cathode dans un bain de trempe convenablement choisi (un mélange de glycérine et de carbonate de potassium par exemple), il suffit, une fois la gaine formée et la pièce chauffée à température convenable, de supprimer le courant pour que, l'enveloppe gazeuse disparaissant avec lui, la pièce chauffée au rouge cerise se trouve plongée dans le bain durcissant sans avoir été retirée, sans avoir pu par conséquent ni s'oxyder ni se refroidir. Comme la chaleur progresse de la périphérie vers le centre, si l'on arrête le courant alors que la couche périphérique seule est arrivée à la température de trempe, elle seule aussi subira l'effet durcissant. On entrevoit la possibilité de réaliser par ce moyen la *trempe superficielle* si désirable dans bien des cas, parce qu'elle laisse au métal intérieur sa résistance au choc tout en rendant la surface beaucoup plus dure et moins sujette à l'usure par frottement.

Des essais en grand du procédé électro-hydrothermique sont faits en ce moment par la Société Cockerill, en vue de l'appliquer à la trempe superficielle des *fusées;* mais il est encore dans l'enfance et il serait téméraire de se prononcer sur l'avenir qui lui est réservé. Quoi qu'il en soit, par l'introduction d'une idée neuve et originale, il ouvre un champ vierge encore aux recherches et mérite à ce titre de fixer l'attention des électriciens.

H. Pontihère.

A PROPOS DE LA NOTICE SUR LA CORRÉLATION DES PHÉNOMÈNES D'ÉLECTRICITÉ STATIQUE ET DYNAMIQUE

par M. A. Cornu, de l'Institut.

Certaines notions sont passées dans l'usage courant; on s'en sert comme de choses parfaitement connues, et sur lesquelles tout le monde a des idées simples et claires. Par exemple, la température; c'est un mot dont chacun fait usage, qu'on emploie dans toutes les acceptions et dont tout le monde pense *a priori* connaître le sens.

Pourtant si l'on pose la question précise : qu'est-ce que la température? on sera probablement obligé de pousser un peu l'interlocuteur pour arriver à la réponse exacte. On obtiendra d'abord ceci : « Deux corps ne sont pas à la même température quand l'un d'eux est plus chaud que l'autre. » Qu'est-ce que « plus chaud? » Il faudra faire comprendre qu'il ne s'agit pas là de quantités de chaleur, que deux corps peuvent renfermer des quantités de chaleur très différentes suivant leurs dimensions et leurs capacités caloriques (ne dites pas capacités calorifiques, ce qui est absurde) respectives et cependant être à la même température; et ce n'est qu'après réflexion qu'on arrivera à la notion vraie : deux corps sont à des températures différentes lorsqu'en les mettant en contact, l'un d'eux cède de la chaleur à l'autre.

On verra alors que la notion en apparence si simple est en réalité assez compliquée; elle n'appartient en propre ni à la chaleur, ni aux corps, elle est une relation des deux.

L'électricité possède une notion qui peut être comparée à celle-là, et qui se caractérise de la même manière, mais elle n'est pas encore passée dans l'usage ordinaire, et dans la conversation courante on entend rarement parler du potentiel. Bien loin d'être populaire dans le monde profane, le potentiel est considéré par les initiés eux-mêmes comme quelque chose de compliqué et de difficile à faire comprendre.

Il est certain que si on s'en tient à la définition algébrique, on a raison de penser ainsi : une force fonction de trois coordonnées rectangulaires de son point d'application admet une fonction potentielle relativement à ce point lorsque les trois composantes de cette force sont exprimées par les trois dérivées partielles du potentiel par rapport aux trois coordonnées; c'est là sans doute une définition à la fois générale et précise, mais elle est peu accessible et ne fournit pas d'idées sur l'utilité et les propriétés de cette fonction, qui semble tout artificielle.

M. Cornu a pourtant fait de cette idée le pivot de la notice qu'il vient de donner sur la corrélation des phénomènes d'électricité statique et dynamique : cette notice se trouve dans l'Annuaire du Bureau des longitudes pour l'année 1893.

On connaît ces notices; nos plus grands savants prennent plaisir à y exposer sous une forme à la fois précise et accessible pour tous les phénomènes ou les théories les plus intéressantes de la science. Il me souvient qu'étant encore sur les bancs du collège, il me tomba sous les yeux une notice de ce genre faite par Arago, sur la théorie des interférences lumineuses; je fus émerveillé de cette clarté, de cette langue et de cette méthode si justes et si attrayantes. La notice de M. Cornu est de la famille et ne démérite pas de ses aînées.

L'auteur a été frappé de ce fait historique que les phénomènes de l'électricité statique et ceux de l'électricité dynamique sont longtemps restés complètement distincts, formant deux séries parallèles qui semblaient n'avoir pas de liaison.

Il remarque, du reste, que certaines lois aujourd'hui parmi les mieux assises de l'électricité dynamique, par exemple la loi de Ohm, ont été très longtemps peu connues et mal comprises. Le mémoire où ce savant formula cette loi primordiale en assimilant le flux électrique perma-

nent au flux calorique, date de 1827; c'est seulement en 1841 que la Société royale de Londres en signala l'importance. C'est que l'assimilation de Ohm manquait de base; lorsqu'il y a écoulement de chaleur entre deux surfaces, on voit entre elles la différence de température que détermine l'écoulement; Ohm n'avait pas mis en lumière la qualité analogue dans l'écoulement électrique, c'est-à-dire la différence de potentiel.

Dans un exposé très substantiel, M. Cornu reprend les phénomènes par leur origine : considérant d'abord les charges statiques, il définit la quantité et l'unité de masse électrostatique. Puis mettant en communication des sphères différemment chargées, il examine quelles sont les conditions pour qu'il y ait passage de l'électricité de l'une sur l'autre.

Il constate qu'en mettant en relation deux sphères, l'une chargée et l'autre non, elles se partagent la charge non suivant leurs volumes ni leurs surfaces, mais proportionnellement à leurs rayons : cette répartition opérée, elles n'ont plus de tendance à échanger de l'électricité, elles sont en équilibre électrostatique; nous dirons alors qu'elles sont au même potentiel. On pourra alors prendre comme mesure de cette fonction pour un conducteur sphérique, le quotient de sa charge par son rayon.

Cette manière d'introduire l'idée de potentiel me paraît fort propre à la rendre accessible : elle n'est pas générale sans doute; il y a intérêt à considérer cette importante notion par des points de vue plus compréhensifs; mais il n'en est aucun, ce me semble, qui la rende dès l'abord plus tangible. Au reste, les autres propriétés du potentiel découlent de celles-là; M. Cornu en déduit simplement la mesure du travail nécessaire pour établir une différence de potentiel donnée entre deux conducteurs.

Il s'est servi pour rendre sa démonstration plus concrète de la comparaison classique entre les phénomènes électriques et les phénomènes hydrauliques; il a poursuivi ce rapprochement avec beaucoup de méthode et en le poussant très loin; au risque peut-être de faire croire la similitude plus absolue qu'elle ne l'est réellement.

Après avoir ainsi examiné les phénomènes d'ordre statique, M. Cornu prend à leur tour les faits que l'on constate sur une pile électrique; il montre que, avant la réunion métallique de ses pôles, il s'y manifeste une différence d'état électrique mesurable qui n'est autre qu'une différence de potentiel : en réalité, la force électromotrice ne s'en distingue que par la relation de cause à effet.

L'identité a été longtemps inaperçue : elle n'a été bien reconnue que lorsqu'on a vu la différence de potentiel subsister entre les diverses parties du conducteur même pendant l'existence du courant, et ce fait n'a été signalé qu'en 1848 par Kohlrausch.

Encore a-t-il fallu les travaux de plusieurs années pour achever de la mettre en évidence, et les travaux de tous les savants y ont contribué.

Aujourd'hui, cette notion est tellement claire et l'identité des phénomènes si évidente que cette histoire semble étrange. Il faut la suivre pour comprendre comment tant d'années ont été nécessaires pour faire apparaître ces relations. On est surpris, en se retournant vers le passé, de voir si près de soi des obscurités que l'on imaginait dissipées depuis bien longtemps.

Le très intéressant travail de M. Cornu a donc un double intérêt, scientifique et historique.

L'auteur le termine par un appendice dans lequel il donne la définition des principales unités électriques, et les relie aux unités mécaniques du système C. G. S. Il s'est contenté de notions générales, ne considérant cette question qu'au point de vue spécial de son sujet, pour montrer la différence, l'incohérence qui existe entre les unités électro-statiques et les unités électromagnétiques; il fait voir d'où vient cette différence et en profite pour insister sur le rapport entre les unités de quantité dans les deux systèmes. On sait que ce rapport, qui est une vitesse, a été trouvé égal à environ 300 000 kilomètres, c'est-à-dire à très peu près la vitesse de la lumière. M. Cornu indique ce rapprochement sans s'y appesantir, mais il en signale l'importance et y montre l'origine des hypothèses qui aujourd'hui commencent à avoir cours au sujet de la nature de l'électricité.

J'aurais désiré que M. Cornu pût s'étendre un peu davantage sur cette question des unités électriques, sur laquelle il y a bien des choses à dire. Il me semble, pour ma part, que la pratique est en train de s'éloigner singulièrement de la théorie; certaines unités sont tout à fait négligées, d'autres employées hors de leur nature pour remplacer les précédentes : on est en

voie de faire pas mal de désordre, là où on s'était efforcé d'apporter l'ordre, peut-être avec excès. Nous reviendrons sur la question; elle n'était pas dans le cadre de l'excellente notice de M. Cornu.

FRANK GÉRALDY.

HYSTÉRÉSIS ET VISCOSITÉ DIÉLECTRIQUES

J'ai signalé récemment (1) le phénomène du retard qui se produit entre la charge communiquée à un condensateur et la différence de potentiel créée entre ses armatures, phénomène sur lequel M. Janet vient de rappeler l'attention (2). J'ai montré également (3) que la relation qui existe entre la différence de potentiel et la charge, lorsque celle-ci est soumise à une variation cyclique, est représentée par une courbe analogue aux boucles d'hystérésis magnétique d'Ewing. M. Janet vient aussi de constater cette analogie en se servant de charges oscillantes.

L'analogie de forme semble d'ailleurs être l'unique lien entre ces deux ordres de relations. L'étude de leurs propriétés fondamentales permet de les différencier nettement. En effet, tandis que la courbe de l'hystérésis magnétique est indépendante de la vitesse avec laquelle le cycle de l'induction est parcouru, la courbe de la quantité d'électricité en fonction de la différence de potentiel d'un condensateur est de forme essentiellement variable avec cette vitesse. L'effet est similaire à celui d'une viscosité.

Si cette dernière propriété est la cause unique du phénomène, la courbe doit se réduire, pour un cycle infiniment lent, à une droite passant par l'origine. L'existence d'une hystérésis diélectrique proprement dite ne semble pas pouvoir être affirmée. Il faudrait, au contraire, conclure à son absence en tenant compte de la loi de proportionnalité rigoureuse entre les intensités du courant de charge aux divers temps et la force électromotrice extérieure, loi établie par M. J. Curie (1) dans ses expériences sur la conductibilité des cristaux. Cette loi montre, en effet, que les charges et les différences de potentiel sont proportionnelles entre elles quand on passe lentement d'une force électromotrice à une autre.

Le phénomène de retard que j'ai signalé est le corollaire nécessaire de la formation du résidu, si fréquemment observée. Le résidu est lui-même une conséquence de ce fait que le quotient de la charge par la différence de potentiel, quotient que l'on peut appeler la capacité *apparente*, varie pendant la charge. Enfin, les lois générales qui régissent ces divers éléments sont implicitement contenues dans la théorie des diélectriques hétérogènes de Maxwell.

J'ai employé plus haut le terme : viscosité; peut-être est-il provisoirement préférable de parler de la viscosité *apparente* du diélectrique, car il ne s'agit pas ici nécessairement d'une propriété moléculaire de la matière. On sait, en effet, que les substances pures ne conservent pas de résidu électrique, mais qu'il suffit en général de mélanger ou de superposer deux substances différentes pour rendre possible la formation du résidu. C'est donc bien à l'hétérogénéité des corps que serait due la viscosité apparente, comme le veut la théorie de Maxwell, et non, ou au moins pas uniquement, à l'inertie moléculaire.

Je me propose de revenir sur cette question avec plus de développements.

A. HESS.

(1) Communication à la Société française de Physique, le 16 décembre 1892; et *La Lumière électrique*, 26 novembre et 10 décembre 1892, p. 401 et 507.

(2) *Comptes rendus*, t. CXVI, p. 373, 20 février 1893.

(3) Communication à la Société internationale des électriciens, le 1er février 1893.

(1) Thèse de doctorat, juin 1888.

CHEMINS DE FER ET TRAMWAYS ÉLECTRIQUES (2).

M. W.-E. Harrington a récemment proposé de transmettre le mouvement de la dynamo aux essieux moteurs par l'intermédiaire de poulies à adhérence électromagnétique du genre de celles représentées en figure 2. Au sortir de la dynamo, le courant passe aux deux poulies mo-

(2) *La Lumière Electrique*, 7 janvier 1893, p. 12.

trices, puis aux poulies des essieux menées par leurs courroies métalliques et de là aux rails par les essieux.

Les poulies sont soit à jantes continues

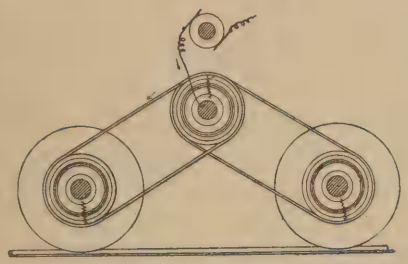


Fig. 1. — Harrington (1892). Transmission par poulies électro-magnétiques.

(fig. 2), aimantées par un enroulement unique, soit à jantes crénelées (fig. 4), avec autant de pôles que de dents.

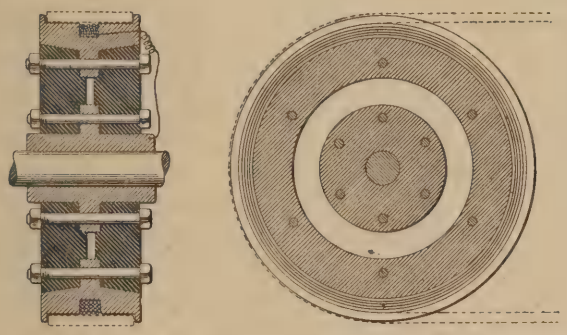


Fig. 2 et 3. — Harrington. Poulies électro-magnétiques à jante plate.

Quant aux courroies, elles sont (fig. 6) formées d'un tissu métallique renforcé par des traverses rivées sur lesquelles agit directement

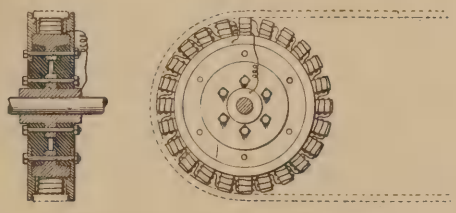


Fig. 4 et 5. — Harrington. Poulies électro-magnétiques à dents.

l'adhérence des poulies. D'après l'inventeur, ce genre de courroies résisterait parfaitement bien, ce dont on serait plutôt porté à douter *a priori*, et c'est un point absolument essentiel. On sait en effet que, jusqu'ici, l'application cinématiquement si simple des transmissions par courroies aux locomoteurs électriques a été sans succès pratique, principalement en raison de leurs glissements et de leur usure rapide, de sorte qu'une

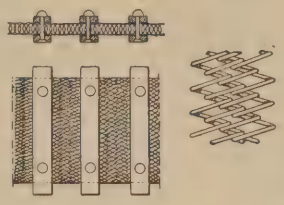


Fig. 6 à 8. — Harrington. Courroies métalliques.

heureuse application des poulies électromagnétiques ferait faire un important progrès à cette question.

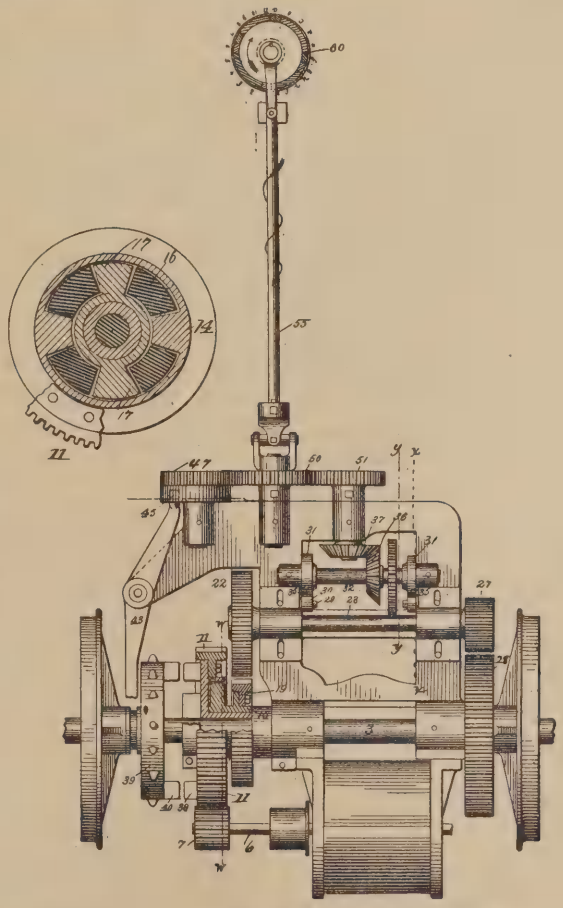


Fig. 9 et 10. — Allington. Transmission par engrenages. Ensemble et coupe *w-w*.

M. Allington emploie, au contraire, comme moyen de transmission, les engrenages avec un mécanisme de changement de vitesse par contre-arbre analogue à ceux que l'on rencontre sur un

grand nombre de machines-outils, notamment sur les tours.

L'arbre 6 de la dynamo 5 attaque (fig. 9), par un pignon 7, la roue 11, folle sur l'essieu 3 et pourvue de secteurs 14, qui entraînent à leur tour, par les caoutchoucs 16 (fig. 10) et les secteurs 17, la roue 19, enfilée sur le moyeu de 11. Devant l'essieu, se trouve un contre-arbre 23 que l'on peut avancer vers l'essieu, de manière à faire engrener 22 avec 19 et 27, avec le pignon 28, calé sur l'essieu, qui, entraîné par 19, 22, 27, 28, marche alors à petite vitesse.

Quand on veut, au contraire, marcher en grande vitesse, on débraye le contre-arbre 23, comme l'indique la figure 9, et l'on embraye

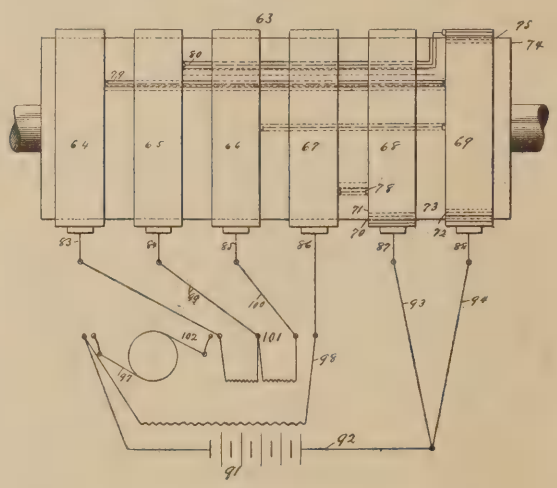


Fig. 11. — Allington. Schéma du commutateur et des circuits.

avec les griffes 38 du pignon 11 celles 40 du plateau 39, calé à rainure sur l'essieu, qui se trouve alors directement entraîné par ce plateau.

La commande de ces mécanismes d'embrayage 23 et 39 s'opère simultanément, de manière qu'ils ne puissent jamais être embrayés tous les deux à la fois. A cet effet, l'arbre 23 a ses patins fixés au châssis du locomoteur par des boutons à coulisses et pourvus de paires de galets 30-35 (fig. 13), menés par les cames à rainure 31, et ces cames sont commandées du locomoteur, par le train 50.51.37.36, au moyen de la tringle de manœuvre 55, qui fait, en même temps, tourner, par 50 et 47, la came 45, dont le levier 43 commande l'embrayage 39.

La manœuvre s'opère en partant de l'état représenté en figure 9, correspondant au débrayage complet de la transmission, en tournant la roue 60 d'abord, de manière à mettre, pour le démarrage, le contre-arbre 23 en prise; puis, le démarrage effectué, l'on passe à la grande vitesse en tournant 60 toujours dans le

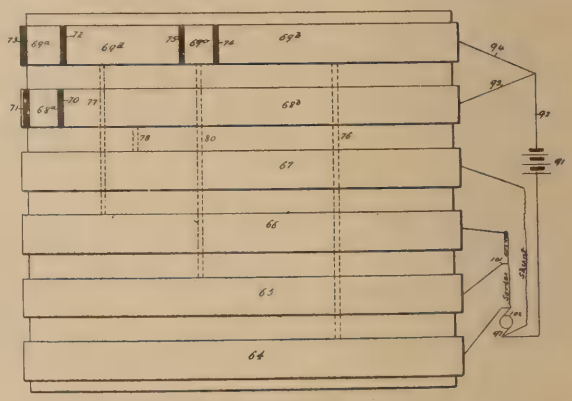


Fig. 12. — Allington. Développement du commutateur.

même sens, jusqu'à embrayer 39, après avoir débrayé 23.

Le courant arrive des accumulateurs 91 (fig. 11) à la dynamo, non pas directement, mais par un commutateur cylindrique 63, commandé en 104 (fig. 14) par le pignon 103, double de 104, et calé sur l'arbre 32.

Au repos, et avec les transmissions débrayées, les balais 87 et 88 portent (fig. 12) sur les parties

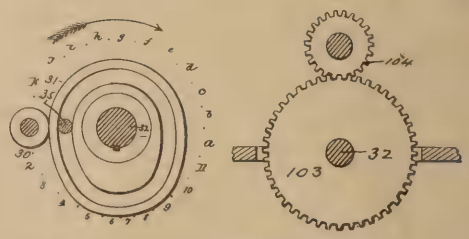


Fig. 13 et 14 — Allington. Détail des cames 31 et de la transmission du commutateur.

isolées 68_a 69_a des lames 68 et 69, de sorte qu'il ne passe pas de courant à la dynamo.

Dès que l'on tourne alors à partir du zéro la manette de manœuvre dans le sens de la flèche (fig. 9), les balais amenés en 68^b 69^a ferment le circuit par les conducteurs 77 et 78 sur les lames 66 et 67, et, par conséquent, par les balais 85 et 86, sur les inducteurs en série 101 et dérivés 98 de la dynamo, qui se met à tourner à grande vitesse et à vide, de manière à enlever vivement

le démarrage par la mise en embrayage du contre-arbre 23, mais avec un faible choc, grâce aux caoutchoucs tampons 16 (fig. 10). Après cet embrayage, le commutateur, continuant à tourner, amène le balai 88 sur 69^c (fig. 12) ce qui coupe du circuit la lame 66 et l'enroulement en série 101, l'autre, 99, restant relié par 69^c 80 65 et le balai 65. Ceci a pour effet, grâce à la prédominance de la dérivation 98, d'augmenter la vitesse et la puissance du moteur, jusqu'à ce que

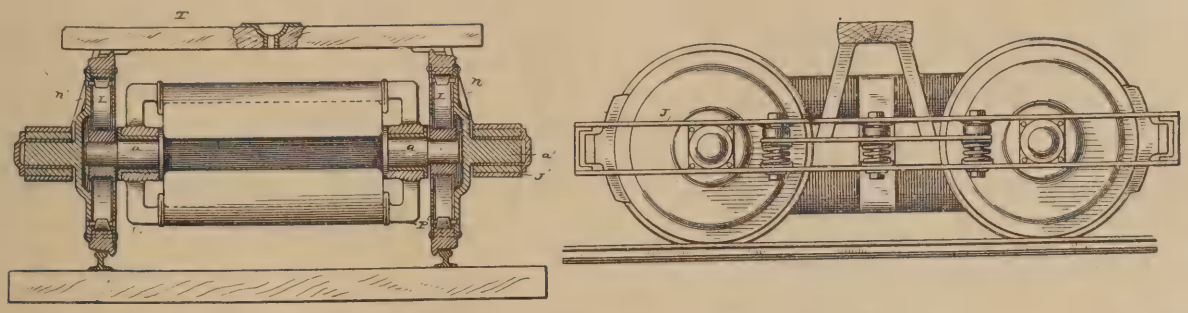


Fig. 15 et 16. — Van Depoele (1892). Dynamo à connexion directe.

l'arrivée des balais 88 sur 69^b, coupant les deux séries du circuit, mette le moteur entièrement en dérivation. On marche alors en pleine puissance, mais toujours à petite vitesse du locomoteur. Pour passer à la grande vitesse, le moteur étant ainsi lancé, on continue à tourner dans le même sens la manœuvre et le commutateur, ce qui a pour effet : d'abord de supprimer un instant le

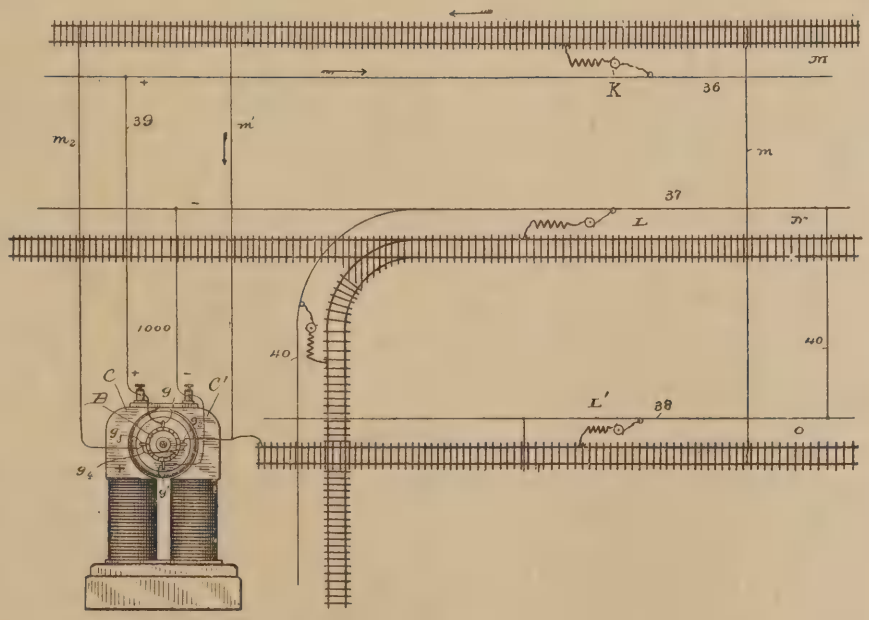


Fig. 17. — Distribution Van Depoele (1892).

courant à la dynamo, puis d'embrayer la grande vitesse, et, enfin, de rétablir les connexions dans le même ordre que précédemment.

M. Van Depoele cale directement l'armature de sa dynamo sur l'essieu *a a* (fig. 15 et 16) qui s'arrête aux moyeux mêmes des roues, et ne porte ainsi que la dynamo. Quant aux roues, leurs rais L sont élastiques, de manière à atténuer les chocs sur l'armature, et elles reçoivent la charge du véhicule par la traverse T, les balanciers J et les fusées *a' a'*, reliées à leurs bandages par les plateaux *n' n'*. Les ressorts L sont

constitués par des lames droites encastrées dans le moyeu et mobiles longitudinalement entre les taquets P′ du bandage.

Le schéma (fig. 17) indique suffisamment le principe de la distribution récemment propo-

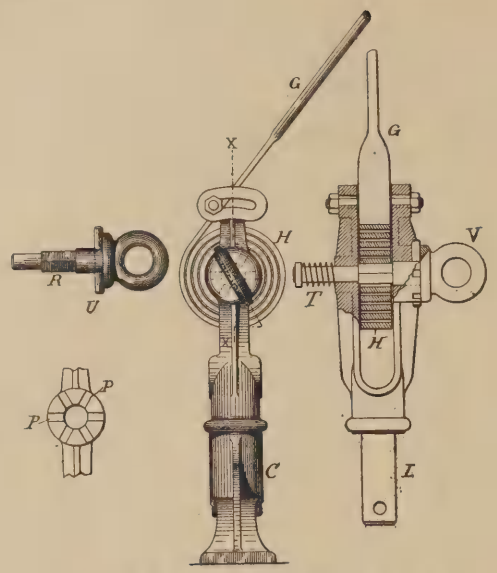


Fig. 18 à 21. — Trolly Mason (1892).

sée par M. Van Depoele pour répartir à plusieurs lignes M N O ... le courant d'une génératrice C, sous un potentiel constant inférieur à celui de la génératrice : 500 volts par exemple

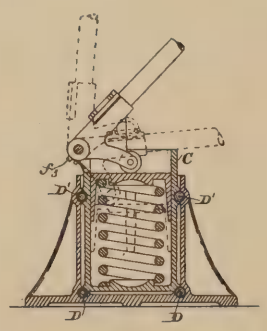


Fig. 22. — Trolly Bentley (1892).

au lieu de 1000. Chacune des voies a son conducteur 36, 37, 38 relié : 37 à 38 par 40, et 36 et 37, par C et C′, aux balais principaux g et g', tandis que les rails font retour par m m' m^2 aux balais secondaires g_2 g_3, réunis par un fil g_4. Les locomoteurs sont figurés en K L et L′. C'est un système de distribution très simple, applicable à un grand nombre de cas où l'on a besoin de courants ainsi réduits de la génératrice.

Le bras G (fig. 18 à 21) du trolly de *M. D. Mason* — compagnie Sprague — a son ressort H enroulé sur le carrelet R d'une clef V, que l'on peut tourner puis fixer par T U dans les enroches P P, de manière à tendre à volonté le ressort. Le pivot I permet au système de tourner dans l'embase C,

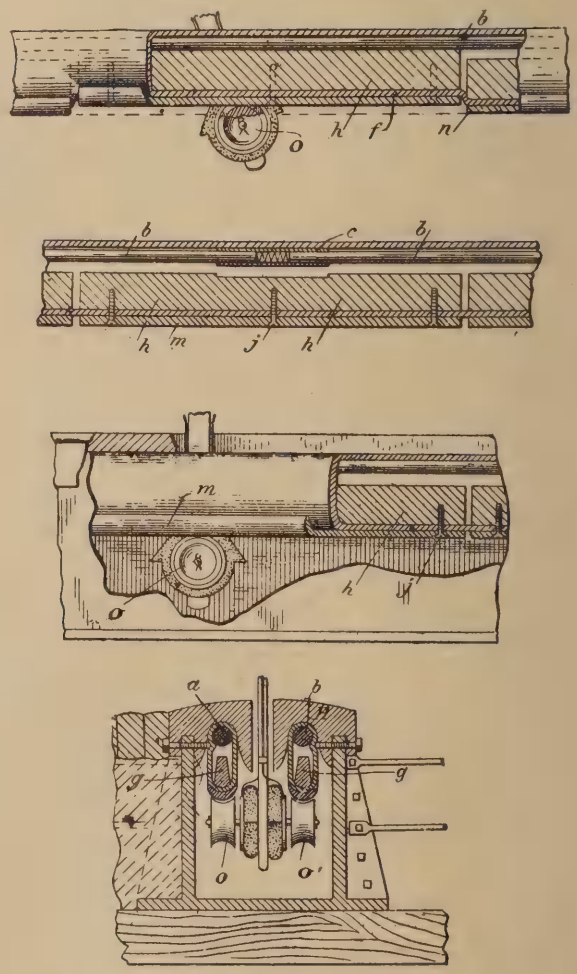


Fig 23 à 25. — Irish (1892). Voie souterraine.

de manière à suivre sans effort les sinuosités du conducteur.

Le bras f du trolly *Bentley* est (fig. 22) articulé sur un cylindre C, roulant sur des billes D D′, qui lui assurent une grande mobilité. Un taquet f empêche le bras de dépasser la verticale au cas où le galet viendrait, malgré cette mobilité, à quitter le conducteur.

Poursuivant avec persévérance son idée de

conducteur à gaine de contact flexible [1], *M. Irish* a récemment apporté à son système des perfectionnements représentés par les figures 22 à 28.

Les conducteurs *a* et *b*, en sections reliées par des douilles *e* (fig. 23) sont enfermés complètement dans des tubes de caoutchouc *f f*, encastrés dans la couverture H du caniveau, et maintenus par des vis *k* (fig. 26), puis garnis, à l'in-

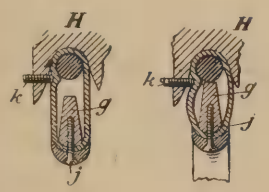


Fig. 26 et 27. — Irish Détail du caoutchouc.

térieur et à l'extérieur, de sections métalliques *m* et *k*, correspondant l'une à l'autre, et fixées au bas du caoutchouc par des vis *j*. A mesure que les galets *o o'* du trolly passent sous les plaques *m*, ils les soulèvent en appliquant les contacts *g* sur les conducteurs *a* et *b*, dont ils reçoivent ainsi le courant.

La figure 28 indique comment on réalise avec ce système le croisement de deux voies.

Reste à savoir comment se comporteront les

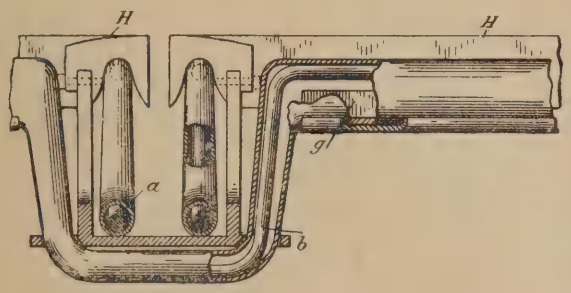


Fig. 28. — Irish. Croisement de voies.

tubes en caoutchouc humides et très fatigués aux points *n* (fig. 22).

La même question de durée peut aussi se poser pour le système de *M. Mansfield*, à contacts mécaniques. A des intervalles réguliers et très rapprochés se trouvent disposés sur la voie des leviers 13 avec boîtes de contact 17 (fig. 29 et 30). Quand le locomoteur passe au-dessus d'un de ces leviers, une sorte de coutre 11, guidé en 12 (fig. 30), soulève ce levier 13, par l'une de ses ailes 15, jusqu'à fermer le contact 31 32. Le courant passe alors du conducteur 19 au locomoteur par 21, l'électro de sûreté 35, le contact 32-31, le fil 28, le contact 14 du levier 13 sur

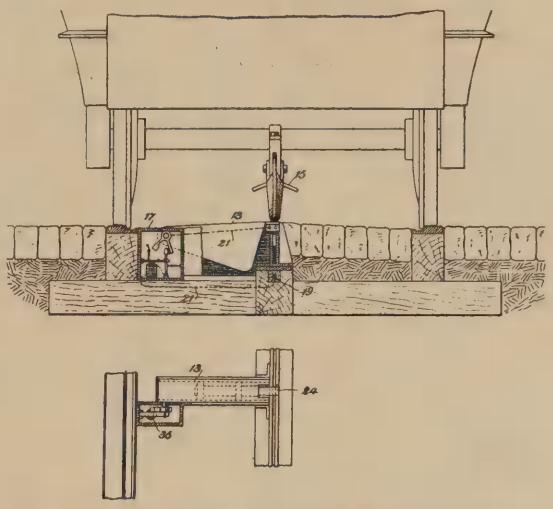


Fig. 29. — Mansfield. Tramway à contacts (1892).

l'ailette 15, puis il retourne par les rails après avoir traversé le locomoteur. Si l'intensité du courant est trop grande, l'électro 35, attirant son armature 36, déclenche le levier 27, et rompt le

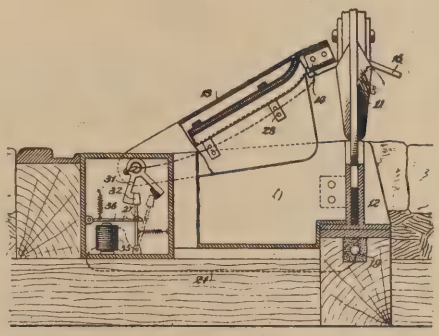


Fig. 30. — Mansfield. Détail d'un contact.

contact 32 31 ; puis, après le passage du locomoteur et la retombée du levier 13, le bras 39 ramène le levier 27 dans sa position verticale et le renclenche avec l'armature 36, prêt à fonctionner de nouveau.

L'écartement des contacts ou des leviers 13 doit être inférieur à la longueur des ailettes 15, de manière que le courant ne soit jamais interrompu au locomoteur.

[1] *La Lumière Electrique* des 29 janvier et 27 octobre 1888, p. 194 et 161.

Nous craignons que, malgré les précautions prises par l'inventeur, ce système ne puisse résister longtemps à l'humidité, à la poussière, à la boue et au passage des voitures et fardiers sur les leviers 13.

CHEMINS DE FER ET TRAMWAYS ÉLECTRIQUES

DÉCRITS DANS MES PRÉCÉDENTS ARTICLES

Adams, 31 octobre 1885, p. 195; 18 avril 1891, 117, 20 août 1892, 364. Akester, 27 avril 1889, 167. Allen, 27 avril 1889, 163. Allsop, 29 octobre 1888, 166. Anderson, 17 octobre 1891. 117. Atwood, 16 janvier 1892, 108. Ayrton et Parry, 23 février 1884, 342.

Bagger, 21 novembre 1891, 371. Bair, 7 janvier 1893, 16. Baldwin, 20 novembre 1890, 418. Bassett, 7 janvier 1893, 13. Baxter, 22 avril 1890, 18. Barnes, 14 mai 1892, 311. Barkley, 10 septembre 1892, 518. Bennett, 3 octobre 1891, 220. Bentley-Knight, 31 octobre 1885, 197; 7 novembre 1885, 257; 27 avril 1889, 105. Beesbrock-Newry, 4 mai 1889, 207. Birmingham, 29 août 1891, 417. Blanchard, 14 et 28 mai 1892, 311, 406, 408; 16 juillet 1892, 105. Bonneau-Desroziers, 3 octobre 1891, 212. Booth, 7 janvier 1893, 13. Boult, 29 novembre 1892. 423. Boston, 17 octobre 1891, 112. Boynton, 12 décembre 1890, 510. Brush, 17 octobre 1891, 114. Brill, 22 novembre 1890, 457. Brown, 20 août, 29 novembre 1892, 364-516.

Carr et Perrin, 20 août 1892, 362. Chicago-Saint-Louis, 12 mars 1892, 516; 16 juillet 1892, 102. Chamberlain, 22 novembre 1890 459. Christiansen, 8 août 1891, 268. City of London, 22 novembre, 6 déécembre 1890, 361, 454. Corning, 16 janvier 1892, 115. Coradson, 14 janvier 1893, 14. Crane, 20 août 1892, 360. Crompton, 27 octobre 1888, 163; 3 octobre 1891, 213. Crosby, 5 vvril, 12 juillet 1890, 13, 69; 18 avril 1891, 113; 14 mars 1892, 311. Currie, 22 novembre 1890, 415.

Daft, 12 juin 1884, 445, 447; 31 juillet, 31 octobre 1885, 214, 197; 12 juin 1886, 485. Dallos, 12 avril 1890, 58. Danchell, 27 septembre 1884, 407; 16 mai 1885, 330. Davenport, 12 juin 1886, 483. Davies et Dudson, 4 juillet 1891, 28. Dewey, 12 décemb8e 1890, 508; 3 octobre 1891, 218; 12 mars 1892, 516. Dickinson, 5 juillet 1890, 14; 28 mai 1892, 407. Dolbear, 7 septembre 1889, 468; 12 décembre 1890, 513. Driscoll et Hunt, Duggan, 17 octobre 1891, 113. Dummer, 22 novembre 1890, 415.

Edison, 21-28 juin 1884, 443, 447, 494; 27 avril 1889, 163; 22 novembre 1890, 414; 18 avril, 8 août 1891, 111, 268. Electrical Engineering C°, 12 décembre 1890, 51. Elevated-Railway, 8 août 1891, 265. Elmore, 20 novembre 1892, 424. Elckemeyer, 29 août 1891, 412. Ellieson, 31 octobre 1885. 196. Elwell et Starley, 6 avril 1890, 17. Evans, 4 juillet 1891, 27. Everett, 21 novembre 1891, 375.

Ferranti, 27 avril, 7 septembre 1889, 165, 168, 467. Field, 17 octobre 1891, 115. Foote, 22 novembre 1890, 416.

Gordon, 4 juillet 1891, 22. Grantland, 29 novembre 1892, 350. Grimston, 20 août 1892, 350. Griffin, 17 octobre 1891, 110.

Hale, 12 juillet 1890, 75. Harding, 4 juillet, 3 octobre 1891, 21, 217. Hewitt, 16 janvier 1892, 107. Hollingsworth. 14 mai 1892, 313. Hopes, 29 novembre 1892, 420. Hopkinson, 24 juin 1884, 495; 27 avril 1889, 167; 6 décembre 1890, 435. Hoydt, 22 novembre 1890, 458. Huber et Magée, 16 janvier 1892, 115. Hunt, 14 janvier 1893, 14. Hunter, 29 novembre 1892, 420. Huertis, 29 novembre 1892, 425. Hutchinson, 28 mai 1892, 420.

Immish, 12 avril, 22 novembre 1890, 64, 418. Irish, 27 octobre 1888, 161.

Jarman, 3 octobre 1891, 213. Jenkin, 5 mai 1883, 23; 16 mai. 13 juin, 7 novembre 1885, 526, 507, 263; 29 novembre 1892, 421. Julien, 13 février 1886, 306. Johnson, 29 août 1891, 414, 416; 16 janvier 1892, 112; 16 juillet, 29 novembre 1892, 106, 421.

Kincaid, 7 septembre 1889, 467. Knocks, 29 novembre 1892, 620.

Lartigue, 26 septembre 1884, 499. Leonard, 20 août 1892, 361. Libbey. 5 juillet 1890, 19. Lieb, 17 octobre 1891, 113. Lineff et Bailey, 27 octobre 1888, 165; 17 avril 1889, 61-62; 29 août 1891, 415 Love, 8 août 1891, 284; 28 mai 1892, 409. Loomis, 29 novembre 1892, 425. Lowry, 29 novembre 1890, 413. Lynch, 22 novembre 1890, 462.

Mac Grew, Mac Currie, 5 juillet 1890, 10. Mac Laughlin 31 juillet 1885, 213, 215. Mac Tight, 17 octobre 1891, 117. Main-Manville, 5 juillet, 22 novembre 1890, 8, 13. Manier, 5 avril 1890, 15. Mansfield, 21 novembre 1891, 374. Meynadier, 12 décembre 1889, 509. Mower, 22 novembre 1890, 416. Munro, 22 novembre 1890, 416. Munsie, 12 mars 1892, 515.

Newhouse, 20 août 1892, 361. Nuttall, 12 mars 1892, 513.

Odell, 5 juillet 1890, 9.

Page, 12 juin 1886, 483; 22 novembre 1890. 367 Paget, 27 avril 1889t 168. Patton, 10 septembre 1892, 513. Peacock et Lange, 22 novembre 1890, 455. Peckham, 5 avril 1890, 15; 16 janvier 1892, 113; 29 novembre 1892, 418. Pillsbury 22 novembre 1890, 415. Philipps, 28 mai 1892, 407. Portrush, 5 mai 1889, 23. Purdon, 10 septembre 1892, 517.

Raworth, 5 juillet 1890, 16. Reed, 12 mars 1892, 514. Recce et Mac-Kibbin, 11 avril 1890, 61. Reno, 18 avril 1891, 117. Rackenzaun, 21 juin 1886, 446. Richter, 12 janvier 1892, 115. Ricker, 7 janvier 1893, 16 Riess, 27 octobre 1888, 164; 10 septembre 1892, 518; Roberts, 12 avril 1890, 57. Robinson, 22 novembre 1890, 365.

Salisbury, 5 avril 1890, 16. Sandron, 7 septembre 1889, 467. Sandwell, 27 avril 1889, 169. Sergent, 12 mars 1892, 512. Sellon, 14 mai 1892, 310. Short, 5 mars 1887, 404; 8 août, 17 octobre 1891, 206, 114, 14; 28 mai 1892, 312, 404; 10 juillet, 20 août, 10 septembre 1892, 103, 363, 514, 516. Shuckert, 28 mai 1892, 409. Siemens et Halske, 27 octobre 1888, 162; 4 juillet, 20 août 1891, 262, 411; 16 janvier, 14 mai 1892, 108, 315; 10 septembre 1892, 513; 7 janvier 1893, 13. Sissach, 12 mars 1892, 517. Smith, 12 juin 1884, 491; 31 octobre, 31 juillet 1885, 197, 209: 27 avril 1889, 161; 12 avril 1890, 59; 12 juillet 1890, 79; 29 novembre 1892, 420. Soley, 7 janvier 1893, 14. Sperry, 10 septembre 1892, 518. Sprague, 31 juillet 1885, 208; 5 avril 1890, 11, 15; 12 juillet 1890, 510; 18 avril 1891, 117; 29 novembre 1892, 422. Stephenson, 22 novembre 1890, 79. Swart, 12 décembre 1890, 510. Stone et Webster, 29 novembre 1892, 421.

Technic Electrical Works, 29 novembre 1892, 419. Thomson-Houston, 16 janvier 1892, 109. 116; 28 mai 1892, 411; 16 juillet 1892, 109. Traill, 24 juin 1884, 493. Tripp, 5 avril, 22 novembre 1890, 17, 457. Trott, 5 juillet 1890, 9.

Unicycle Electric Traction, 22 novembre 1890, 456.

Van Depoele, 7 septembre 1889, 467; 12 avril 1890, 58; 29 août, 17 octobre 1891, 409, 111. Vaughan, 7 septembre 1889, 465. Volk, 5 mars 1887, 463.

Waddell-Eritz, 7 juillet 1891, 23. Ward, 21 juin 1884, 446. Wason, 28 mai 1892, 404. Werms, 12 ovril, 5 juillet 1890, 66, 17. Wenstron, 28 novembre 1890, 417. Westinghouse, 27 avril 1889, 164; 18 avril 1891, 112. Wheless-Wheatley, 12 avril 1890, 60; 4 juillet 1891, 23. Wheeler, 5 juillet 1890, 8. Willson, 12 mai 1892, 317; 29 novembre 1892, 417. Winkler, 8 août 1891, 29. Winton, 20 août 1892, 361. Wynne, 27 octobre 1888, 159.

GUSTAVE RICHARD.

CHRONIQUE ET REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

Transformateur à perte magnétique réduite Siemens 1892.

On sait qu'un des principaux défauts inhérents aux transformateurs est la perte d'énergie due au travail d'aimantation, perte qui reste constante quelle que soit la charge des appareils et tend par suite à diminuer le rendement lorsque le transformateur fonctionne à une faible charge, ce qui a lieu pendant la plus grande partie du fonctionnement.

La maison Siemens et Halske fait breveter en ce moment un transformateur construit dans le but de diminuer l'énergie dépensée pendant l'année par le travail d'aimantation.

La charge d'un transformateur variant suivant les heures de la journée, il était donc naturel de songer à réaliser un transformateur à charge maxima variable dans des limites plus ou moins étendues.

L'idée qui constitue le principe du nouveau transformateur est des plus connues : le rapport entre les tensions primaire et secondaire dépend exclusivement du rapport des enroulements. Par suite, si l'on fait varier proportionnellement, à l'aide d'un commutateur quelconque, ces deux enroulements, le rapport des tensions ne sera pas changé.

La solution est dès lors la suivante. Pendant la période de temps où le transformateur ne travaille pas à pleine charge (et il travaille alors souvent au-dessus de moitié de cette charge), le travail d'aimantation pourra être alterné en augmentant le nombre de spires simultanément dans les deux enroulements.

Description. — Les enroulements primaire et secondaire se composent chacun de deux moitiés que l'on peut mettre soit en série soit en quantité, suivant que la charge est faible ou voisine de la pleine charge. Il va sans dire que les éléments transformateurs ne pouvant être calculés pour les deux cas à la fois le sont pour la pleine charge, et en particulier l'abaissement de

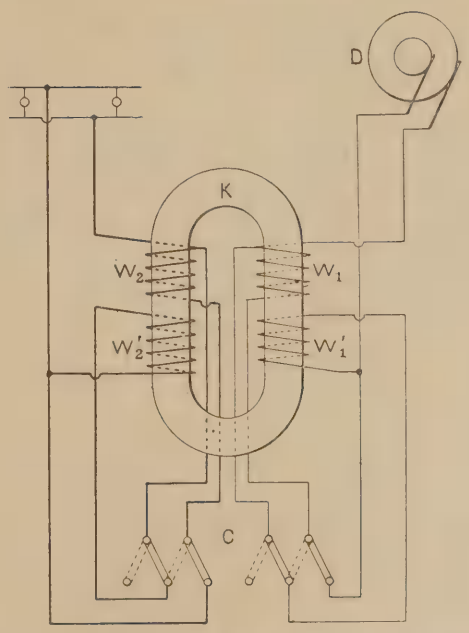


Fig. 1. — Transformateur à charge maxima variable.
W_1 W'_1 enroulements primaires.
W_2 W'_2 — secondaires.
C commutateur de mise en série ou en parallèle.

tension et la perte par aimantation ont le pourcentage ordinaire.

Pendant le travail en faible charge, les deux enroulements de chaque circuit primaire et secondaire étant en série, le nombre de spires est doublé et l'on obtient un nombre de lignes de force moitié de celui correspondant à la mise en parallèle et le travail d'aimantation s'abaisse alors dans le rapport 1,6.

Le rapport est représenté schématiquement sur la figure. D est la dynamo génératrice, W_1 W_1' les deux circuits primaires, W_2 W_2' les deux

secondaires, enroulés tous quatre sur le même noyau K.

Le commutateur C permet de coupler à volonté les circuits en série ou en quantité.

Il faut remarquer que dans le groupement en série l'abaissement de tension sera quatre fois plus grand à pleine charge que dans le groupe en quantité, puisque l'on a une section moitié moindre et une longueur double ; mais comme la maison Siemens distribue à potentiel constant, cette variation n'entre pas en ligne de compte.

Chaque primaire pourrait comprendre plus de deux enroulements, trois ou quatre par exemple.

On pourrait encore employer un enroulement fort pour la pleine charge et mettre en circuit un enroulement spécial, devant le dit transformateur, afin d'augmenter le nombre de spires dans le but d'atténuer le travail d'aimentation. A pleine charge cet enroulement ne serait pas employé.

Lors de la commutation pour la mise en série il se produit, comme nous l'avons dit, une perte de tension un peu plus grande dans le transformateur ; on pourra alors déterminer la section du fil de façon à ce qu'au moment de la mise en tension il se produise une légère augmentation de la tension secondaire afin de compenser la perte due à l'abaissement de voltage.

Nous ferons remarquer de plus que le dispositif s'applique également aux courants polyphasés.

F. G.

Boussole Ritchie (1892).

Cette boussole porte sur un cercle mobile A un miroir cylindrique *d* et un prisme à réflexion

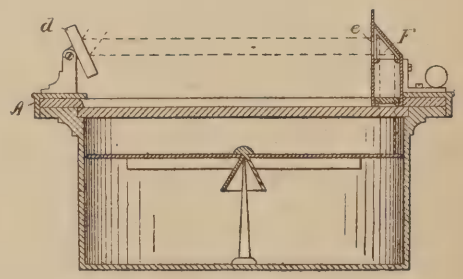


Fig. 1

totale F, avec alidade *e*, qui permet d'éclairer et de suivre la pointe de l'aiguille au moyen des rayons solaires refléchis sur *d* et concentrés en *e*.

G. R.

Accumulateur cellulaire Washburn (1889-1892).

Chacun des éléments de cet accumulateur se compose d'une électrode tubulaire B, en plomb ou en alliage de plomb, percée de trous en nombre suffisant pour assurer une libre circulation de l'électrolyte, mais assez petits pour ne

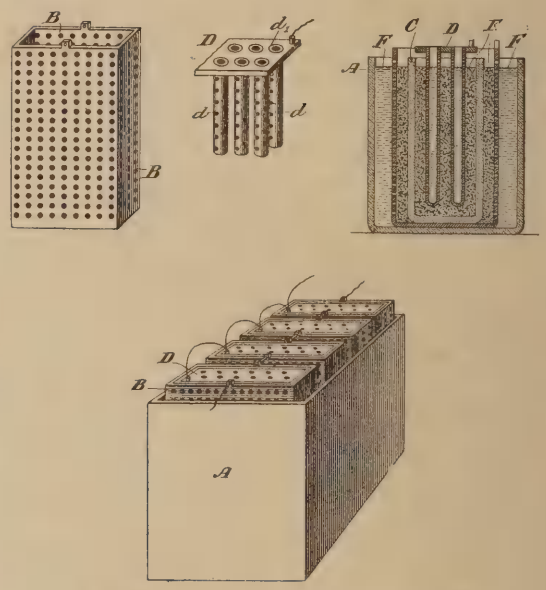


Fig. 1 à 4. — Accumulateur Washburn.

pas laisser passer la matière active logée entre cette électrode et le vase poreux C, à l'intérieur duquel se trouve la seconde électrode multitubulaire D, également en plomb, dans laquelle on verse, ainsi que dans l'auge extérieure A, l'acide sulfurique dilué F, et qui plonge dans la matière active E.

G. R.

Accumulateurs Michel (1892).

MM. Michel préparent la matière active de leurs plaques en désagrégeant par un procédé mécanique ou chimique un alliage de 96 o/o de plomb et de 4 o/o de zinc, puis en traitant cet alliage granulé par de l'acide sulfurique, qui forme du sulfate de zinc. On enlève ensuite ce sulfate par un lavage, de sorte qu'il ne reste plus

que des granules de plomb alvéolées par ce lavage. Ces granules compressibles sont ensuite réagglomérées en petites briquettes, ou comprimées dans les creux des plaques sous une pression de 50 atmosphères environ.

MM. Michel fabriquent aussi des amalgames très riches en mercure renfermant, par exemple, 3 à 4 de mercure en poids pour 1 de zinc, ou au moins parties égales de mercure et de zinc, qu'il applique légèrement sur des boîtes métalliques ou dans des treillis. On obtient ainsi des plaques très solides, qui peuvent être avantageusement employées comme négatives dans des accumulateurs plomb-zinc, en les recouvrant d'une feuille de papier parcheminée retenue par des bandes de caoutchouc.

G. R.

Sur la détermination des défauts d'isolement des canalisations électriques en service, par M. O. Frœlich [1].

Pour la détermination des pertes par défaut d'isolement sur les canalisations électriques, pendant la marche, on se contente ordinairement de mesurer le potentiel de divers points du circuit, notamment des conducteurs principaux à la station centrale, et l'on fait cette mesure soit grossièrement à l'aide de lampes à incandescence, soit en se servant d'instruments de mesure. Des méthodes plus précises n'ont été données, je crois, que par Frisch, et par le Dr Hiecke; le premier mesure l'isolement total; celui-ci localise les défauts importants par des mesures faites à la station centrale.

Il est incontestable que des déterminations de ce genre, effectuées pendant le fonctionnement, sont absolument nécessaires, car le service est généralement continu et n'offre que très rarement l'occasion de faire des mesures pendant le repos, et la réparation des défauts sans localisation préalable par des mesures électriques est compliquée et difficile.

A l'usine de la maison Siemens et Halske, à Berlin, on emploie depuis plusieurs années des méthodes de mesure expérimentées sous ma direction et avec la collaboration de MM. Howe, Tietzen-Hennig, Rasehorn, Conrad; la description de ces méthodes fait l'objet de cette communication.

Problèmes à étudier.

Les problèmes qui se posent sont les suivants :

1. Détermination de la résistance d'isolement totale;
2. Détermination de l'emplacement et de la résistance d'un défaut dans un circuit simple, lorsqu'il n'existe qu'un seul défaut important;
3. Détermination des résistances de divers défauts existant simultanément et dont l'emplacement est connu (conducteurs principaux d'une station centrale);
4. Localisation d'un défaut important dans un réseau très étendu.

Ces divers problèmes sont à résoudre pendant le fonctionnement de l'installation et sans déranger le service; nous verrons que cela est pratiquement réalisable. Toutefois, il faut faire exception pour le cas où un point du circuit, par exemple le fil neutre d'une distribution à trois fils, se trouve à la terre; dans ce cas, il est impossible d'effectuer des mesures d'isolement pendant la marche.

Propriétés des défauts.

Si nous considérons un circuit parfaitement isolé, il est clair que les valeurs absolues des potentiels dans ce circuit sont indéterminées; car les diverses lois applicables ne s'occupent que des différences de potentiel, non des potentiels absolus. On peut donc avoir dans ces circuits les potentiels les plus élevés comme les potentiels les plus bas. Mais si l'on connaît la valeur du potentiel en un des points du circuit, on peut facilement déterminer les potentiels de tous les autres points.

Si le circuit présente *un seul défaut*, c'est-à-dire une communication de résistance quelconque avec la terre, le potentiel en ce point doit être celui de la terre, c'est-à-dire zéro. S'il n'en était pas ainsi, de l'électricité s'écoulerait en ce point vers la terre sans retourner dans le circuit, ce qui est impossible.

Pour *deux défauts* situés en des points différents du circuit, un courant passe du premier défaut par la terre au second défaut; le potentiel

[1] Communication faite à l'*Elektrotechnischer Verein*, le 20 décembre 1892.

d'un des points est donc positif, celui de l'autre négatif, et ces potentiels sont entre eux dans le rapport inverse des résistances des défauts.

Quand il existe *un défaut important et beaucoup de petits défauts*, le courant s'échappant du premier est égal à la somme algébrique des courants traversant les autres. Si l'on détermine le lieu du défaut en supposant qu'il n'en existe qu'un, le défaut *résultant* est très près du défaut le plus prononcé.

Dans le cas où *un grand nombre de défauts*, tous à peu près du même ordre, se trouvent disséminés sur le circuit, le lieu du défaut « résultant » tombe dans le voisinage du milieu du circuit. Dans ce cas on ne s'occupe plus des divers défauts, mais de l'*isolement* en général.

Dans un grand nombre de considérations théoriques sur les défauts, il est plus commode de considérer, non pas la *résistance* du défaut (f) mais sa réciproque, la *conductibilité* du défaut :

$$k = \frac{1}{f}.$$

La conductibilité (K) *de l'isolement est égale à la somme des conductibilités des divers défauts et égale à la réciproque de la résistance d'isolement* (F).

$$K = \sum \frac{1}{f} = \frac{1}{F}.$$

Méthodes de mesure.

Les méthodes employées par nous sont de deux genres : *intercalation de galvanomètres* entre divers points du circuit et la terre, et d'autre part emploi des *mesures au pont* en diverses combinaisons..

La première méthode réunit deux points de vue. Si la résistance du galvanomètre est élevée, sa mise en relation avec le circuit ne modifie pas les potentiels dans ce dernier et la mesure donne le potentiel absolu au point de contact. Si la résistance du galvanomètre est faible, l'instrument détermine lui-même, au point de contact avec le circuit, un défaut artificiel, dont l'influence sur les potentiels présente un moyen de mesure.

Les mesures au pont reposent sur l'emploi du pont de Wheatstone, sous la forme générale que je lui ai donnée.

En principe, il est établi que la proportion bien connue entre les résistances des branches s (fig. 1) subsiste encore quand toutes les branches latérales et diagonales d sont le siège de forces électromotrices; mais l'équilibre doit alors être établi de façon qu'en ouvrant ou fermant l'un des ponts d, le courant dans l'autre pont reste *le même* (mais ne doit pas disparaître comme dans la disposition ordinaire).

Pour l'emploi de cette méthode, nous donnerons quelques indications pratiques.

Les deux branches diagonales (les ponts) sont interchangeables.

Au lieu de la pile habituelle dans l'un des ponts, on peut employer une résistance quelconque.

Souvent, lorsque la branche du galvanomètre est parcourue par un courant, l'aiguille se trouve collée; il n'est pas nécessaire de faire disparaître ce courant en lui opposant une pile; il est préférable d'agir sur l'aiguille, en approchant un aimant jusqu'à annuler l'action du champ et en employant ensuite un aimant directeur.

Si l'on remplace le galvanomètre par un téléphone, il est bon de faire les interruptions dans l'autre branche à l'aide d'une roue de contact mue à la main ou par un moteur électrique. Le son que l'on obtient ainsi peut être distingué plus facilement des divers bruits qui peuvent se produire dans le voisinage.

Les méthodes de mesure au pont que nous indiquons plus loin sont en partie basées sur un schéma plus compliqué que celui de Wheatstone; il a fallu en développer la théorie; mais nous ne donnerons que les formules finales nécessaires à la mesure.

Mesure de l'isolement.

Avant de décrire les méthodes de mesure de l'isolement, nous développerons une considération théorique.

Dans un circuit simple (fig. 2), nous supposerons que la boucle extérieure soit divisée en $2n$ parties d'égale résistance et présentant en leurs points de contact des défauts d'une certaine résistance, pas trop faible. Supposons, de plus, que la différence de potentiel entre deux défauts soit partout la même, δ. Nous désignons par o le point du milieu de la boucle, par 1, 2, 3,... n, les points situés entre o et le pôle positif, les autres par $-1, -2, -3, \ldots -n$. Soit f_m

la résistance du défaut au point m; sa conductibilité sera

$$k_m = \frac{1}{f_m},$$

et la conductibilité totale des défauts sera

$$K = \sum_{-n}^{+n} k_m = \sum_{-n}^{+n} \frac{1}{f_m}.$$

Les courants de perte du conducteur à la terre sont i_0, i_1..., i_{-1}, i_{-2}..., les potentiels aux points défectueux : P_0, P_1, P_2..., P_{-1}, P_{-2}.....

D'après Kirchhoff, on a les équations :

$$\sum_{-n}^{+n} i_m = 0,$$

$$\begin{array}{ll} -i_0 f_0 + i_1 f_1 = \delta & -i_0 f_0 + i_{-1} f_{-1} = -\delta \\ -i_1 f_1 + i_2 f_2 = \delta & -i_{-1} f_{-1} + i_{-2} f_{-2} = -\delta. \\ \text{etc.} & \text{etc.} \end{array}$$

Si l'on déduit de ce système d'équations les

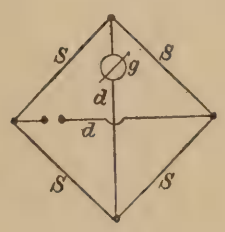


Fig. 1

courants de perte i, ensuite le potentiel P_0 par $P_0 = i_0 f_0$, on obtient :

$$P_0 = \frac{\delta}{\sum \frac{1}{f}} \left\{ -\frac{1}{f_1} - \frac{2}{f_2} - \frac{3}{f_3} \cdots - \frac{n}{f_n} + \frac{1}{f_{-1}} + \frac{2}{f_{-2}} + \frac{3}{f_{-3}} + \cdots + \frac{n}{f_{-n}} \right\}$$

$$= \frac{\delta}{K} \left\{ -k_1 - 2k_2 - 3k_3 \ldots - nk_n + k_{-1} + 2k_{-2} + 3k_{-3} + \ldots + nk_{-n} \right\}$$

ou

$$P_0 = \delta \frac{h}{K},$$

en posant

$$h = -k_1 - 2k_2 \ldots - nk_n + k_{-1} + 2k_{-2} + \ldots + nk_{-n}.$$

Pour les autres potentiels l'on a :

$$\begin{array}{llll} P_1 = P_0 + \delta, & P_2 = P_0 + 2\delta, & \ldots\ldots & P_n = P_0 + n\delta, \\ P_{-1} = P_0 - \delta, & P_{-2} = P_0 - 2\delta, & \ldots\ldots & P_{-n} = P_0 - n\delta. \end{array}$$

Si l'on place entre le point m et la terre un galvanomètre de résistance g, on diminue en quelque sorte la résistance f_m du défaut et l'on doit remplacer

$$k_m = \frac{1}{f} \qquad \text{par} \qquad \frac{1}{f_m} + \frac{1}{g}.$$

Le potentiel autour du point o devient alors

$$P'_0 = \frac{h - \frac{m}{g}}{K + \frac{1}{g}},$$

et toutes les tensions sont augmentées de la valeur $P_0' - P_0$.

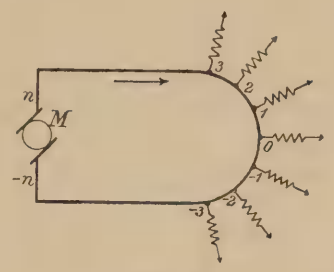


Fig. 2

De ce qui précède on conclut que le potentiel du conducteur intermédiaire d'une distribution est nul lorsque la somme

$$k_1 + 2k_2 + \ldots + nk_n$$

possède la même valeur du côté positif que du côté négatif, et de plus qu'un défaut d'une cer-

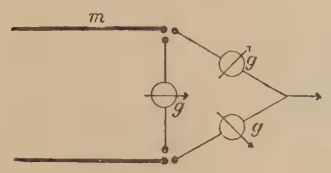


Fig. 3

taine résistance agit d'autant plus sur le potentiel du conducteur intermédiaire qu'il est plus éloigné de ce dernier.

Les formules précédentes permettent de comprendre facilement les méthodes que nous allons décrire.

Méthode 1 *(Frisch)*. — M. Frisch place un galvanomètre, d'abord entre chacun des conducteurs et la terre, puis entre les deux conduc-

teurs; les trois déviations permettent de calculer la résistance des dérivations.

Lorsque le galvanomètre (fig. 3) se trouve entre le conducteur m et la terre, sa déviation est, d'après la formule donnée plus haut

$$P'_m = \delta \frac{h - \frac{g}{m}}{K + \frac{1}{g}} + m\delta;$$

entre le conducteur $m-1$ et la terre, on a

$$P'_{m-1} = \delta \frac{h - \frac{m-1}{g}}{K + \frac{1}{g}} + (m-1)\delta;$$

enfin, placé entre les deux conducteurs, le galvanomètre donne la déviation δ. On en déduit la conductibilité du défaut :

$$K = \frac{1}{g} \frac{P'_m - P'_{m-1}}{\delta - (P'_m - P'_{m-1})},$$

et la résistance d'isolement :

$$F = \frac{1}{K} = -g + g \frac{\delta}{P'_m - P'_{m-1}}. \qquad (1)$$

Méthode 2 *(méthode de la dérivation)*, fig. 4. — On peut aussi mesurer l'isolement, en ne reliant le galvanomètre qu'à un seul conducteur et en faisant varier sa résistance ; c'est-à-dire en faisant la mesure avec et sans le shunt s ; il suffit alors de faire deux mesures sur le même conducteur.

En intercalant le galvanomètre entre le conducteur m et la terre, le potentiel sur le conducteur intermédiaire est

$$P'_0 = \delta \frac{h - \frac{m}{g}}{K + \frac{1}{g}};$$

en ajoutant le shunt s, ce potentiel devient

$$P''_0 = \delta \frac{h - \frac{m}{g} - \frac{m}{s}}{K + \frac{1}{g} + \frac{1}{s}}.$$

Il s'ensuit :

$$K = -\frac{1}{g} + \frac{1}{s} \frac{P''_0 + m\delta}{P'_0 - P''_0} = -\frac{1}{g} + \frac{1}{s} \frac{P''_m}{P'_m - P''_m} \qquad (2)$$

Il suffit donc de mesurer les deux déviations obtenues avec et sans shunt ; de plus, il faut connaître les résistances du galvanomètre et du shunt. La détermination est d'autant plus précise que la différence entre les deux déviations P'_m et P''_m est plus grande. Si l'on dispose d'un shunt variable, on peut l'arranger de façon que

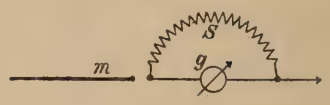


Fig. 4

les deux déviations soient dans un rapport simple, par exemple 1/2 ; alors

$$P''_m = \frac{1}{2} P'_m,$$

et l'on a

$$K = \frac{1}{F} = -\frac{1}{g} + \frac{1}{s}. \qquad (2a)$$

Si le galvanomètre est sensible, de sorte qu'il

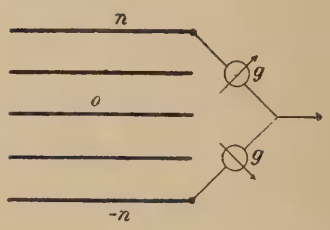


Fig. 5

faille y ajouter de grandes résistances additionnelles, on peut négliger $\frac{1}{g}$. On obtient alors les cas suivants :

$$\left.\begin{array}{ll} P''_m = \frac{1}{2} P'_m, & F = s \\ P''_n = \frac{2}{3} P'_m, & F = \frac{s}{2} \\ P''_m = \frac{3}{4} P'_m, & F = \frac{s}{3} \\ \text{etc.} & \text{etc} \end{array}\right\} \qquad (2b)$$

Méthode 3 *(méthode des deux galvanomètres)*, fig. 5. — Cette méthode est particulièrement propre à l'observation continue de l'isolement pendant la marche.

On intercale deux galvanomètres, l'un entre n et la terre, l'autre entre $-n$ et la terre. Les deux déviations sont de sens différent, mais d'égale valeur, tant que les défauts d'isolement sont uniformément répartis des deux côtés du point milieu ($h=0$); la différence algébrique des deux déviations donne en même temps la différence de potentiel entre les deux points. Dès qu'il se produit un défaut, la déviation du galvanomètre le plus proche diminue, tandis que celle de l'autre instrument augmente de la même quantité; la différence absolue des deux déviations donne la mesure de la différence d'isolement des deux côtés du point neutre, ou bien, lorsqu'il n'existe qu'un défaut, la mesure de ce défaut.

Si l'on supprime un galvanomètre pour lire ensuite la déviation de l'autre, puis si l'on fait l'opération inverse, on peut, au moyen des déviations isolées et des deux déviations simultanées, calculer l'isolement; mais il ne faut pas que la résistance des instruments soit trop élevée.

Avec les deux instruments simultanément en circuit, le potentiel au fil neutre est

$$P_0' = \frac{h - \frac{n}{g} + \frac{n}{g}}{K + \frac{2}{g}} = \frac{h}{K + \frac{2}{g}},$$

et les potentiels des deux points n et $-n$ sont

$$P'_n = P'_0 + n\delta,$$
$$P'_{-n} = P'_0 - n\delta;$$

d'où

$$P'_n + P'_{-n} = 2P'_0 = \frac{2h}{K + \frac{2}{g}}. \qquad (3a)$$

En reliant un instrument au point n, le potentiel en ce point devient

$$P''_n = \frac{h - \frac{n}{g}}{K + \frac{1}{g}} + n\delta;$$

en mettant l'instrument en communication avec $-n$, on rend le potentiel en ce point égal à

$$P''_{-n} = \frac{h + \frac{n}{g}}{K + \frac{1}{g}} - n\delta;$$

donc

$$P'_n + P''_{-n} = \frac{2h}{K + \frac{1}{g}}. \qquad (3b)$$

De ($3a$) et ($3b$) on tire la conductibilité totale des défauts

$$K = -\frac{1}{g} + \frac{1}{g}\,\frac{P'_n + P'_{-n}}{P''_n + P''_{-n} - (P'_n + P'_{-n})}. \qquad (3c)$$

Remarque sur les méthodes 1, 2, 3.

Comme pour ces méthodes on ne rencontre dans les expressions de K et de F que des rapports entre les tensions P, le galvanomètre n'a pas besoin d'être étalonné en volts; toutefois cet étalonnage est préférable, parce qu'on obtient alors en même temps les valeurs absolues des potentiels.

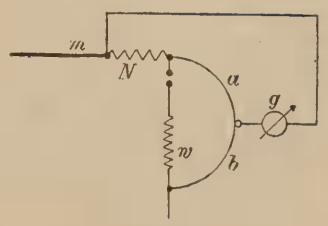


Fig. 6

Méthode 4 *(mesure au pont)*, fig. 6. — On considère le réseau entier comme un point unique relié à la terre par une certaine résistance F, et l'on intercale cette résistance comme quatrième branche d'un pont, tandis qne la troisième branche est constituée par une résistance N. On déplace le curseur jusqu'à ce que l'ouverture ou la fermeture du pont w n'ait aucune influence sur l'intensité du courant dans la branche g. Dans ce cas, on a la relation très simple

$$F = N\frac{b}{a}. \qquad (4)$$

Défaut unique ou résultant.

Lorsqu'il existe un seul défaut, ou plusieurs défauts, mais dont un seul est important, on peut déterminer pendant la marche non seulement la résistance du défaut résultant, mais

encore l'endroit où il se trouve; je crois qu'on ne l'avait jamais fait jusqu'ici.

Méthode 5 (*galvanomètres en deux points*), figure 7. — M. Frisch a déterminé la résistance d'isolement en reliant un galvanomètre mis à la terre successivement avec deux points du circuit; mais les mêmes mesures permettent aussi de localiser le défaut.

Soient : I le courant dans le circuit principal, W la résistance extérieure totale, X la résistance extérieure entre le pôle 1 et le défaut, g et F les résistances du galvanomètre et du défaut, i_1, i_2 les courants indiqués par le galvanomètre et comptés positivement dans la direction vers la terre, lorsque le galvanomètre est mis successi-

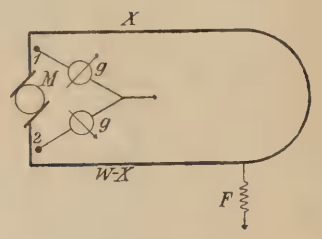


Fig. 7

vement en relation avec les pôles 1 et 2. On a alors les équations suivantes :

$$i_1 = \frac{IX}{g+F},$$

$$i_2 = -\frac{I(W-X)}{g+F},$$

d'où l'on tire :

$$\frac{X}{W} = \frac{i_1}{i_1 - i_2} = 1 + \frac{i_2}{i_1 - i_2}. \qquad (5)$$

Il convient de combiner cette méthode avec celle des deux galvanomètres (méthode 3). Si l'on remarque une différence notable entre les déviations de deux galvanomètres intercalés simultanément, on enlève un des instruments, puis on lit la déviation de l'autre, et réciproquement ; on obtient ainsi les valeurs de i_1 et i_2, qui déterminent le lieu du défaut.

Comme les deux déviations ne diffèrent pas lorsque le défaut se trouve au milieu du circuit extérieur, il est bon de faire les mesures séparément, même quand on n'observe pas de différence des déviations.

Méthode 6 (*mesure au pont*), figures 8 et 9. — Le fil du rhéocorde ou les branches du pont formées de bobines sont mis en relation avec les pôles de la machine, le galvanomètre est placé entre le curseur et la terre, et une résistance w peut être montée en dérivation sur la machine.

On déplace le curseur jusqu'à ce que l'ouver-

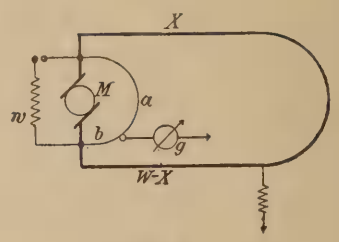


Fig. 8

ture et la fermeture de la branche w ne change pas le courant dans le galvanomètre.

On peut alors écrire

$$\frac{X}{W-X} = \frac{a}{b},$$

ou

$$\frac{X}{W} = \frac{a}{a+b}. \qquad (6)$$

La méthode peut être employée pour déter-

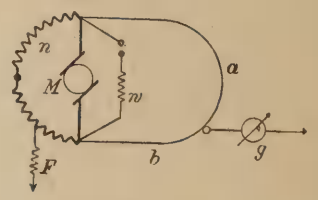


Fig. 9

miner l'endroit d'un défaut *dans une machine* en marche, figure 9.

Le montage est le même, si ce n'est qu'il est préférable de couper le circuit extérieur; mais on peut le laisser en place pourvu que son isolement soit bon.

Si le défaut se trouve dans le circuit en dérivation n de la machine, la mesure donne l'emplacement réel du défaut; si le défaut est situé dans l'induit, on obtient l'équilibre, par suite de la rotation, lorsque $a = b$.

Lorsque dans une distribution il se produit

un défaut important, on peut trouver le conducteur défectueux soit par la méthode 4, soit par la méthode 5. A. H.

(*A suivre*).

REVUE DES TRAVAUX

RÉCENTS EN ÉLECTRICITÉ

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du 3 mars 1893.

M. d'Arsonval expose ses nouvelles recherches sur l'action physiologique et thérapeutique des courants alternatifs. Les lecteurs de ce journal connaissent déjà les recherches de ce savant, qui ont été exposées ici plusieurs fois [1]; l'auteur les a continuées en employant des courants alternatifs de très haute fréquence produits d'abord par le procédé de M. Hertz, puis par celui de M. Elihu Thomson.

Cette dernière méthode a l'inconvénient qu'on est obligé de souffler l'étincelle, soit au moyen d'un courant d'air, soit à l'aide d'un champ magnétique; M. d'Arsonval a substitué d'abord à l'alternateur une bobine de Rhumkorff, puis il a pris comme condensateur deux bouteilles de Leyde réunies comme l'indique la figure 1. Comme l'ont montré les recherches de M. Lodge sur la self-induction, la décharge qui se produit en A est précédée d'une variation graduelle de la tension; au contraire la décharge entre les armatures extérieures dans le circuit B se produit d'une façon brusque et devient oscillante. Le circuit B est un solénoïde d'une douzaine de tours constitué par un fil de 3 mm. de diamètre, celui des spires étant d'environ 10 cm.

Les expériences ont été faites de deux façons : d'abord on a étudié l'effet du courant dérivé dans le circuit C passant directement à travers l'organisme; ensuite on a cherché comment ils se comportent quand on les place à l'intérieur du solénoïde.

Quand on essaie les courants directs, il semble d'abord que leur action soit nulle; en particulier on n'éprouve aucune sensation; les nerfs moteurs, les nerfs sensitifs et les muscles ne sont pas influencés, la motivité n'est nullement influencée. Cependant si on met en relation les artères d'un animal avec un manomètre à mercure on voit la pression, qui était d'abord de 16 cm environ, descendre à 10 cm: les courants ont donc agi sur le système vaso-moteur. La nature de l'action a d'ailleurs pu être double; on sait, en effet, depuis les recherches de Claude Bernard, que le système vaso-moteur se divise en deux : l'un, le système vaso-excitateur, qui a pour effet de contracter les vaisseaux; l'autre, le système vaso-dilatateur, qui produit l'action inverse; l'effet observé peut s'expliquer de deux façons : ou par une paralysie d'expression, ou par une excitation du premier. On peut faire

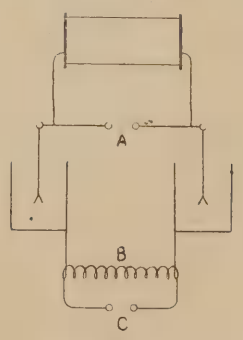


Fig. 1

l'expérience sur un homme en inscrivant les pulsations au moyen du sphygmographe de Marey; la courbe, au lieu de descendre régulièrement, présente une indentation semblable à celle qu'on observe chez les sujets dont les artères ne sont pas assez pleines et chez lesquels on peut observer, outre l'onde sanguine directe, l'onde inverse.

Un autre effet remarquable des courants est le suivant : la partie du corps sur laquelle on applique une large électrode perd la sensibilité à la douleur; elle est analgésiée. Elle conserve les sens tactiles, mais on peut la couper ou la brûler sans éveiller aucune sensation. Cet effet peut d'ailleurs subsister pendant plusieurs minutes après le passage du courant, jusqu'à vingt minutes dans certains sujets; il est donc permis d'espérer que cette découverte pourra rendre les plus grands services en chirurgie, l'analgésie présentant sur l'anesthésie ordinaire l'avantage de ne pas supprimer la sensibilité tactile.

[1] *La Lumière Electrique*, t. XLIV, p. 103.

Enfin, on constate que la rougeur qui se manifeste dans le membre traversé par le courant, suite de la dilatation des vaisseaux est accompagnée d'une production de sueur abondante.

Passons à la seconde série d'expériences ; si on prépare une grenouille suivant la méthode de Galvani, qu'on rabatte le nerf lombaire sur la cuisse, il se produit d'abord une contraction, puis le repos. Si alors on introduit la grenouille à l'intérieur du solénoïde, on voit se produire des contractions très brusques tant que le courant passe. Une autre action remarquable est celle qui s'exerce sur le bacille pyocyanogène,

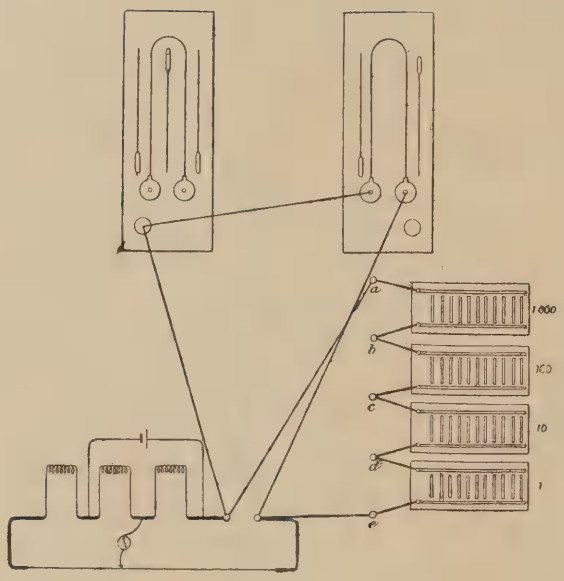


Fig. 2

ce microbe dont la présence dans les plaies donne naissance à des suppurations bleues ou vertes ; une culture de ce bacille dans un liquide conducteur (dissolution de chlorure de sodium à 1 ou 2 o/o) introduite dans le solénoïde perd la propriété de secréter les liqueurs colorées caractéristiques ; la dissolution reste incolore ; de nouveaux bacilles issus de cette même culture manifestent de nouveau les propriétés chromogènes.

Quelle explication convient-il de donner de ces phénomènes ? M. d'Arsonval hésitait autrefois entre deux hypothèses : ou bien les courants se seraient produits seulement à la surface des conducteurs, muscles ou nerfs, qui, par suite, n'auraient pas été influencés, ou bien, et c'est à cette dernière opinion que s'arrête le savant physiologiste, les nerfs ne sont influencés que par les courants alternatifs qui ont une période déterminée. D'ailleurs, la nature nous offre un exemple analogue dans le nerf optique, qui n'est affecté que par des vibrations lumineuses dont la période varie entre deux limites déterminées.

Un échange d'observations suit cette communication ; en particulier, M. Mascart dit que certaines expériences de M. Brown-Séquard, que M. d'Arsonval a citées en passant, et d'après lesquelles les sensations de la chaleur et du toucher seraient transmises par des nerfs spéciaux, confirme cette vue de lord Kelvin que l'homme possède *six* sens, le sens du toucher devant être

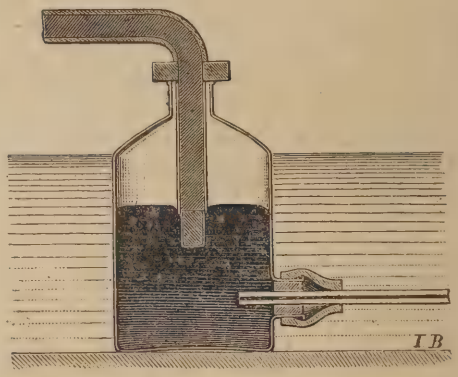


Fig. 3

subdivisé en deux, correspondant aux sensations calorifiques et à celles purement mécaniques.

M. d'Arsonval montre expérimentalement l'inocuité des courants qu'il produit, soit en saisissant les deux extrémités du conducteur C, soit en laissant passer à travers son corps le courant produit par la décharge disruptive ; enfin, il montre que l'intensité est suffisante pour amener à l'incandescence une lampe de 0,8 ampère et de 125 volts.

M. Guillaume expose les recherches qu'il a entreprises pour déterminer le coefficient de variation de la résistance du mercure avec la température, dont les résultats sont déjà connus de nos lecteurs.

M. Guillaume expose ses recherches sur la variation thermique de la résistance électrique du mercure. Il a effectué deux séries d'expériences, l'une dans l'hiver de 1888-89, l'autre

pendant l'hiver suivant. Cette saison est choisie à cause de la facilité plus grande qu'il y a à maintenir une salle à température constante; cette constance presque absolue résulte de l'examen de diagrammes du thermomètre enregistreur Richard.

La méthode consistait à comparer la résistance de deux étalons dont l'un était maintenu à température constante, tandis qu'on faisait varier celle de l'autre. Dans la première série d'expériences, on faisait la comparaison au moyen d'un pont à corde par la méthode ordi-

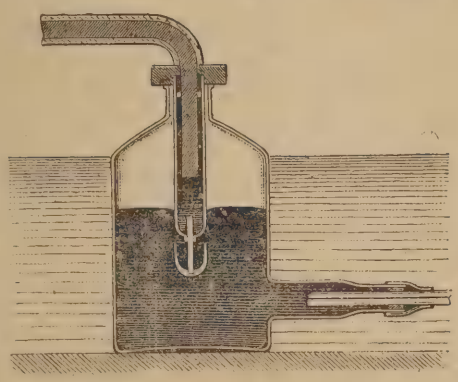


Fig. 4

naire; dans la seconde, on ramenait le galvanoscope au zéro en mettant en dérivation sur les bornes de l'étalon chaud une résistance prise dans une série de quatre boîtes à décades Carpentier à double entrée. L'erreur de la comparaison dépend du produit de rapport de chacune des résistances à sa dérivation par l'erreur relative des dérivations; ce produit n'atteignant guère que 1/30, il suffit de connaître les dérivations à 1/30000, pour obtenir le résultat définitif à 1/100000.

On élimine les contacts en plaçant dans chacun des bains qui contiennent les étalons des vases qui contiennent plusieurs kilog. de mercure (fig. 2).

On avait d'abord utilisé la disposition de la figure 3; on a jugé ensuite préférable la disposition 4 dans laquelle la longueur totale de l'étalon est plongée dans le bain. Enfin, pour l'extrémité de la tige de cuivre, elle est munie d'une capsule de platine coiffée d'un godet de verre (fig. 5).

Voici les résultats des secondes mesures :

1° Variation apparente de la résistance du mercure dans le verre dur, en fonction du thermomètre à mercure :

par le fil

$$r_t = r_0 \begin{pmatrix} 1 + 0{,}00087537\, t + 0{,}0000010621\, t^2 \\ + \qquad 55 \quad + \qquad 89 \end{pmatrix};$$

par les dérivations

$$r_t = r_0 \begin{pmatrix} 1 + 0{,}00087671\, t + 0{,}0000010469\, t^2 \\ + \qquad 44 \quad + \qquad 72 \end{pmatrix};$$

2° En fonction de l'échelle normale

$$r_0\ (1 + 0{,}00088023\ T + 0{,}0000010063\ T^2)$$
$$r_0\ (1 + 0{,}00088157\ T + 0{,}0000009909\ T^2);$$

en utilisant les mesures de MM. Benoit et Chap-

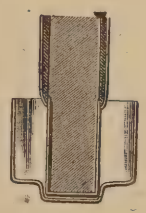


Fig. 5

puis sur la dilatation du verre, on trouve pour la variation vraie

$$\rho_0\ (1 + 0{,}00088745\ T + 0{,}0000010181\ T^2$$
$$\rho_0\ (1 + 0{,}00088875\ T + 0{,}0000010022\ T^2).$$

Par suite de la compensation qui se produit entre les coefficients, les différences entre les valeurs données par les deux formules ne dépassent pas 0,000003 entre 0 et 60°.

M. Guillaume compare ses résultats avec ceux qu'ont publiés récemment MM. Kreichgauer et Jæger, d'après des mesures entreprises au Physikalische-Technische Reichsanstalt; ils ont donné la formule

$$\rho_0\ (1 + 0{,}0088827\ T + 0{,}00000126\ T^2).$$

Les expériences ont été faites entre 14° et 28°. Le coefficient du terme en T^2 étant déterminé avec une précision proportionnelle au carré de l'intervalle de température, on est conduit à transformer la formule en admettant le terme trouvé par M. Guillaume; le coefficient du terme en T devient alors 8884.10^{-7}; la concordance est donc parfaite.

En terminant, M. Guillaume indique les ré-

sultats d'un travail récent de M. Dorn, qui, après avoir discuté avec le plus grand soin les diverses déterminations de l'ohm, leur a appliqué des corrections qui les rendent très voisines; on obtient ainsi pour les valeurs extrêmes résultant de chaque travail

Kohlrausch	106,264	106,310
Dorn	» 235	» 235
Rayleigh et Sidgwich	» 235	» 288
Rowland, Kimbal, Duncan	» 290	» 290
Rowland 1887	» 320	» 320
Jones	» 281	» 307
Glazebrook, Dodds, Sargan	» 265	» 299
Himstedt	» 257	» 257
Rowland et Kimball	» 310	» 310
Rayleigh	» 280	» 312
Wuilleumier	» 267	» 285

La moyenne générale est

106,28.

C. R.

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du 1er mars 1893.

M. Cance décrit l'installation d'éclairage électrique qu'il a réalisée à la gare Saint-Lazare.

Les premières installations datent de 1889; l'usine était située à l'entrée du tunnel des Batignolles; elle fournissait le courant nécessaire à l'éclairage des parties de la gare accessibles au public : quais, cours, salle des pas-perdus et salles d'attente dans lesquelles étaient réparties :

7	lampes à arc de	25	ampères	(250	carcels)
162	» »	8	»	(40	»)
39	» »	6	»	(25	»)
6	» à incandescence de 16 bougies, à 1 amp.				

Le réseau était à deux fils, avec un potentiel utile de 70 volts et admettait une perte de charge de 20 volts au maximum. Le tableau central de distribution était situé à 760 mètres de l'usine, au centre des bâtiments de la gare et comprenait 4 tableaux distributeurs alimentés par un circuit principal partant des dynamos.

L'usine comprenait :

3 machines horizontales Lecouteux et Garnier avec distribution genre Corliss et échappement à air libre, d'une force de 150 chevaux.

6 dynamos Gramme de 450 ampères et 90 à 100 volts, soit 40500 à 45000 watts.

3 générateurs Belleville pouvant produire 2000 kilos de vapeur par heure, sous une pression de 12 kilos.

Chacun des trois moteurs commandait deux dynamos; on avait ainsi trois groupes distincts, deux pour le service courant, un servant de réserve.

Les bons résultats obtenus par cette installation ont conduit l'administration à adopter l'éclairage électrique pour ses différents services.

La Compagnie de l'Ouest est la seule dont tous les services soient groupés sur le même emplacement. Outre les parties déjà mentionnées, l'usine devait fournir le courant aux différents bureaux des services : 1° de la direction et des travaux, rue de Londres; 2° de l'exploitation, rue d'Amsterdam ; 3° de la direction générale et des titres, rue de Rome ; 4° de la traction, place de l'Europe ; 5° des messageries, rue de Saint-Pétersbourg.

Le nombre de lampes à arc de différentes puissances installées à l'heure actuelle s'élève à 250; elles éclairent une surface de 80000 m², ce qui correspond à un éclairement de 1,27 bougie à un mètre par mètre carré.

Il y a en plus 2600 lampes à incandescence éclairant une superficie de 20000 m², ce qui correspond à 1,5 bougie par mètre carré.

La nouvelle usine se trouve située en partie sous le pont de l'Europe; on y a transporté l'ancien matériel et on a installé de nouveaux moteurs, en sorte qu'elle comprend actuellement :

5 générateurs pouvant vaporiser ensemble 10000 litres d'eau à l'heure sous une pression de 12 kilos;

5 moteurs horizontaux de 140 chevaux et une machine pilon de 70 chevaux, à échappement libre, avec admission de vapeur aux cylindres à 6 kilos.

Chaque moteur horizontal commande 2 dynamos de 550 ampères et 80 volts, et la machine pilon une dynamo semblable; l'usine peut donc fournir au total 484000 watts; les installations actuelles n'utilisent qu'une partie de cette puissance.

L'usine ayant à répondre à un véritable service de station centrale, elle a été aménagée en conséquence; l'enroulement des dynamos a été modifié, afin de distribuer à potentiel constant et à intensité variable; enfin des dispositions

particulières ingénieuses ont été prises pour le tableau de commande et pour les rhéostats.

La canalisation est à deux fils; le tableau des arcs se trouve au milieu de la canalisation, et les branchements sont faits pour les différents locaux suivant la méthode ordinaire.

L'installation a été faite complètement par la Société Cance et à ses frais; pendant 10 ans, elle l'exploitera et maintiendra le matériel en état; au bout de ce temps l'installation fera retour à la Compagnie de l'Ouest, qui, dans ces conditions, paye aux entrepreneurs une redevance fixée comme suit par heure et par lampe.

Lampe à arc de 8 ampères.....	0 fr. 40
» » 6 »	0 30
Lampe à incandescence de 16 bougies...	0 05
» » 10 »	0 035

ce qui met le kilowatt-heure à environ fr. 0,556.

Cette redevance est payée d'après l'horaire d'allumage des lampes.

Une longue discussion s'engage ensuite sur les propositions de l'*American Institute of Electrical Engineers*, pour le Congrès International des Electriciens qui se tiendra à Chicago au mois d'août prochain.

Comme nous avons publié le texte exact du programme des ingénieurs américains dans notre dernier numéro, nous ne publierons que plus tard les modifications que les savants français proposent d'y apporter.

G. P.

Propriétés magnétiques du fer pur, par Francis Lydall et Alfred Pocklington (1).

Les résultats ci-dessous indiqués ont été obtenus avec un échantillon de fer pur. Les expériences ont été effectuées sous la direction du Dr Hopkinson. L'échantillon avait été fourni par le colonel Dyer, des Elswick Works. Il est composé de fer presque pur, les impuretés étant

Carbone	Silicium	Soufre	Manganèse
Traces	Traces	0,013	0,1

La méthode d'expérimentation était la même que celle décrite dans le mémoire du Dr Hopkinson sur « l'aimantation du fer aux températures élevées », consistant à prendre des courbes de l'induction à la température ordinaire, puis à des températures de plus en plus élevées, jusqu'à ce que l'on atteigne le point critique. Les températures sont calculées d'après la résistance de l'enroulement secondaire, l'accroissement de résistance par 1° C, étant supposé être 0,00388 de la résistance à 20° C. Les températures indiquées

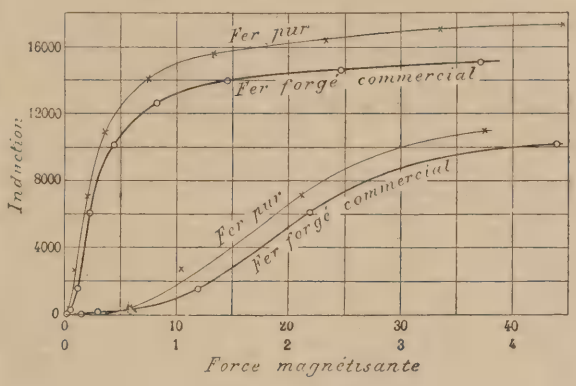


Fig. 1. — Résistance du secondaire 0,75 ohm à 10,5° C (échantillon pur, marqué X).

entre parenthèses ont été calculées par la formule de Benoit

Les dimensions de l'anneau étaient : diamètre extérieur 45 mm., diamètre intérieur 32 mm., largeur 26 mm.

La figure 1 donne la courbe de l'induction

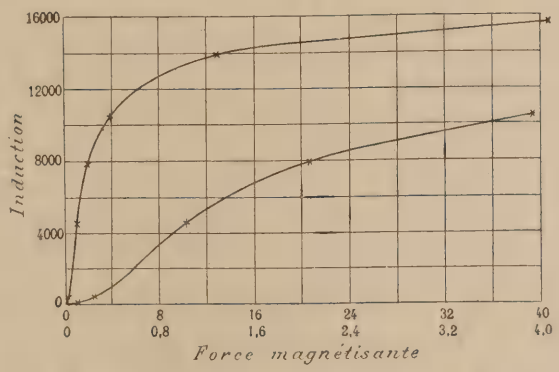


Fig. 2. — Résistance secondaire 2,706 ohms. Température 658° C (676°).

prise à 10°,5 C comparée avec celle donnée à 8°,5 C par le fer forgé examiné par le Dr Hopkinson. Cette courbe montre l'induction très élevée qui se développe dans le fer pur pour une force magnétisante très modérée, et la faible valeur de l'hystérésis. Dans cette figure et dans les suivantes, les courbes sont tracées en double, pour deux échelles différentes de H.

(1) *Proceedings of the Royal Society*, t. LII, n° 316, p. 228.

Les figures 2, 3, 4 et 5 donnent les courbes obtenues aux températures suivantes : 658° (676°), 727° (738°), 770° (780°), 855° (857°).

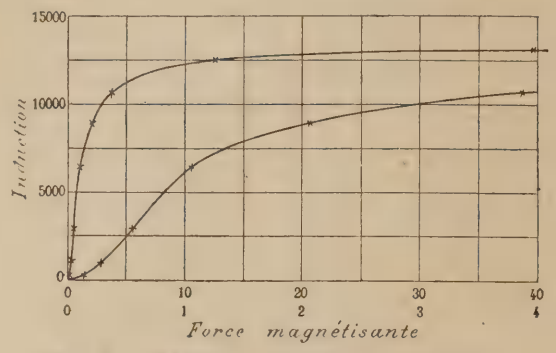


Fig. 3. — Résistance secondaire 2,91 ohms. Température 727° C (738°).

On voit qu'avec l'augmentation de température l'hystérésis diminue et l'induction maxima baisse

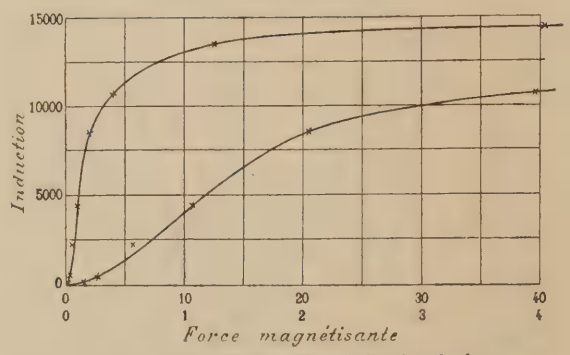


Fig. 4. — Résistance secondaire 3,046 ohms. Température 770° (780°).

considérablement. Pour une faible force magnétisante, la perméabilité augmente fortement avec

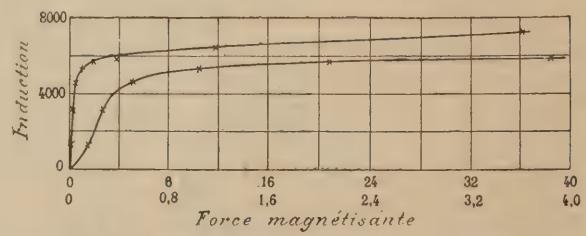


Fig. 5. — Résistance secondaire 3,303 ohms. Température 855° C (857°).

la température, tandis que l'inverse a lieu pour des forces magnétisantes plus grandes.

La figure 6 montre la relation entre la perméabilité et la température lorsque H = 0,3, la perméabilité maxima observée étant 11 100 pour une force magnétisante de 0,3 et à une température de 855° C (857°).

La figure 7 a pour but de mettre en lumière la relation de l'induction à la température pour

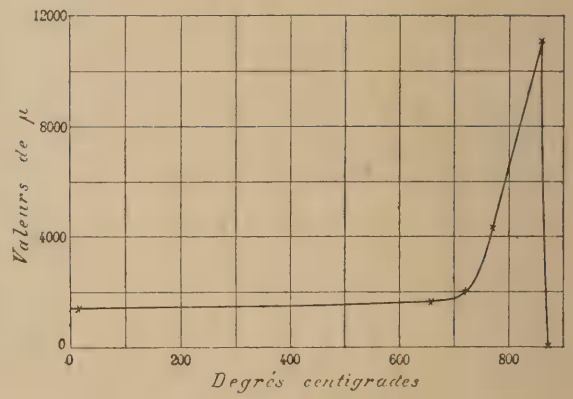


Fig. 6

une faible et pour une grande force électromotrice.

Pendant l'échauffement de la substance le point critique de désaimantation était atteint à

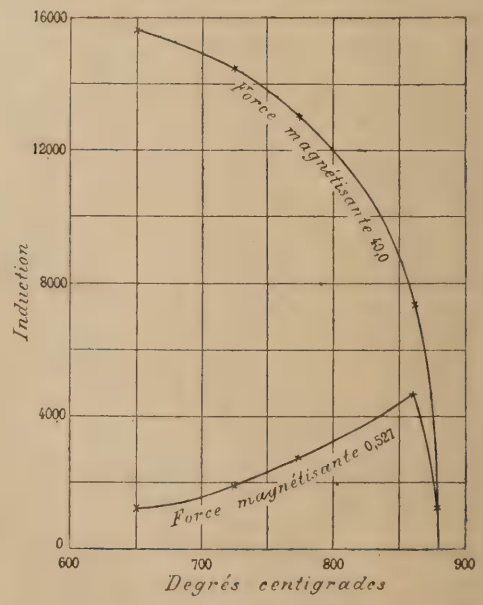


Fig. 7

874° C (875°), et au refroidissement la matière redevenait magnétique à 835° C (838°).

En comparant ces résultats avec ceux obtenus par M. Hopkinson avec des échantillons moins purs de fer, nous avons ici 874° C. en place de

786°, tandis que dans une autre expérience avec du fer doux la température critique était 880° C. et pour du fil de piano, 838° C. A. H.

Analogies entre les formules de mécanique et d'électricité, par MM. F.-C. Bedell et A.-C. Crehore

Aucun phénomène n'est mieux compris que lorsqu'il peut être comparé directement à des faits qui nous sont familiers; de même aucun raisonnement n'est plus facilement saisi que lorsqu'il est expliqué par analogie. Les analogies entre certaines relations mécaniques et électriques sont si frappantes que les premières étant connues, les autres en découlent et à un tel point que de certaines lois de la mécanique on peut en déduire immédiatement des lois correspondantes en électricité.

Ce procédé est réversible, et l'électricien peut avec une égale facilité entrer dans le domaine de la mécanique.

Pour mettre cette méthode de raisonnement en pratique et obtenir avec une certitude absolue des résultats bien définis, il est nécessaire de comparer tout d'abord les relations fondamentales de la mécanique et de l'électricité.

Les tables ci-dessous sont destinées à montrer les analogies entre le mouvement linéaire, de rotation et le courant électrique.

TABLE I. — MOUVEMENT LINÉAIRE.

Notation.

1 Temps $= t$.
2 Longueur $= s$.
3 Vitesse linéaire

$$v = \frac{ds}{dt} \text{ ou } ds = vdt$$

4 Accélération linéaire

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 s}{dt^2}$$

5 Masse $= M$.
6 Moment $= Mv$.

Résistance de frottement.

7 Résistance de frottement $= R$.
8 Force nécessaire pour vaincre cette résistance

$$F_R = Rv.$$

9 Energie dépensée pendant le temps dt pour vaincre cette résistance

$$dW_R = F_R\, ds = Rv^2 dt.$$

Inertie.

10 Force nécessaire pour vaincre l'inertie (force exterieure) :

$$F^1 = Ma = M\frac{dv}{dt}.$$

11 Energie cinétique acquise pendant le temps dt :

$$dW' = F\, ds = Mv\frac{dv}{dt}dt.$$

12 Energie cinétique :

$$W' = \int_0^v Mv\frac{dv}{dt} = \frac{1}{2}Mv^2.$$

Inertie et résistance.

13 Force totale appliquée :

$$F = F^1 + F_R = Rv + M\frac{dv}{dt}.$$

14 Energie totale fournie pendant le temps dt :

$$dW = dW_R + dW',$$

ou :

$$F\, ds = F_R\, ds + F^1 ds,$$

ou :

$$Fvdt = Rv^2 dt + Mv\frac{dv}{dt}dt.$$

TABLE II. — MOUVEMENT CIRCULAIRE.

Notation.

1 Temps $= t$.
2 Angle $= \Phi$.
3 Vitesse angulaire :

$$\omega = \frac{d\Phi}{dt} \text{ ou } d\Phi = \omega dt.$$

4 Accélération angulaire :

$$a = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\Phi}{dt^2}.$$

5 Moment d'inertie I.
6 Moment angulaire $I\omega$.

Résistance de frottement.

7 Résistance de frottement = R.

8 Couple nécessaire pour vaincre cette résistance :

$$T_R = R\omega.$$

9 Energie dépensée pendant le temps dt pour vaincre la résistance :

$$dW_R = T_R\, d\Phi = R\omega^2 dt.$$

Inertie.

10 Couple nécessaire pour vaincre l'inertie :

$$T' = Ia = I\frac{d\omega}{dt}.$$

11 Energie cinétique acquise pendant le temps dt :

$$dW = T'd\Phi = I\omega\frac{d\omega}{dt}dt.$$

12 Energie cinétique :

$$W = \int_0^\omega I\omega\frac{d\omega}{dt}dt = \frac{1}{2}I\omega^2.$$

Inertie et résistance

13 Couple total appliqué :

$$T = T_R + T' = R\omega + I\frac{d\omega}{dt}.$$

14 Energie totale fournie pendant le temps dt:

$$dW = dW_R + dW',$$

ou :

$$T\,d\Phi = T_R\, d\Phi + T'd\Phi,$$

ou :

$$T\omega dt = R\omega^2 dt + I\omega\frac{d\omega}{dt}dt.$$

TABLE III. — COURANT ÉLECTRIQUE.

Notation.

1 Temps = t.

2 Quantité = q.

3 Courant :

$$i = \frac{dq}{dt} \quad \text{ou} \quad dq = idt.$$

4 Accélération du courant:

$$\beta = \frac{di}{dt}.$$

5 Coefficient de self-induction = L.

6 Moment électro-magnétique = Li.

Résistance.

7 Résistance = R.

8 Force électromotrice nécessaire pour vaincre cette résistance :

$$e_R = Ri.$$

9 Energie dépensée dans la résistance pendant le temps dt :

$$dW_R = e_R\, dq = Ri^2\, dt.$$

Self-induction.

10 Force électromotrice nécessaire pour vaincre la self-induction :

$$e' = L\beta = L\frac{di}{dt}.$$

11 Energie acquise par le champ magnétique pendant le temps dt :

$$dW' = e'dq = Li\frac{di}{dt}dt.$$

12 Energie du champ magnétique :

$$W' = \int_0^i Li\frac{di}{dt}dt = \frac{1}{2}Li^2.$$

Résistance et self-induction.

13 Force électromotrice totale agissant :

$$e = e_R + e' = Ri + L\frac{di}{dt}.$$

14 Energie totale formée pendant le temps dt:

$$dW = dW_R + dW',$$

ou :

$$e\,dq = e_R\, dq + e'dq,$$

ou :

$$e\,idt = Ri^2dt + Li\frac{di}{dt}dt.$$

Lancer un courant électrique dans un circuit est l'analogue du mouvement communiqué à un corps et les deux demandent également une force impulsive. Cette force peut vaincre la résistance (la résistance électrique correspond évidemment au frottement) et l'inertie de la masse ou le courant.

Dans le cas du courant électrique l'inertie est la self-induction. Le mouvement d'un volant

correspond au flux électrique, sa vitesse au courant, son moment d'inertie au coefficient de self-induction et le frottement à la résistance du circuit.

L'étude des tables précédentes montre plus clairement ces analogies. Il est à remarquer que le volant ou la masse en mouvement en vertu de la force vive acquise continue son mouvement, après la suppression de la force active jusqu'à ce que cette énergie soit dépensée complètement en frottement. De même lorsque l'intensité du courant diminue par la suppression de la force électromotrice agissante, l'énergie fournie dans le champ magnétique est restituée au circuit, et le courant subsiste jusqu'à ce que cette énergie soit complètement utilisée dans la résistance du circuit.

Ces analogies ne peuvent être considérées comme des faits rigoureux; leur exactitude pour le courant électrique a été établie dans le premier chapitre de notre travail sur les courants alternatifs.

D'autres analogies frappantes se déduisent d'elles-mêmes, mais l'espace ne nous permet pas d'attirer l'attention sur elles, du reste les plus fondamentales sont celles données plus haut.

F. G.

VARIÉTÉS

LE CAOUTCHOUC DU HAUT-ORÉNOQUE [1]

X. — De l'abattage des arbres

Nous avons été amenés à rechercher s'il n'y avait pas avantage à piquer les arbres sur la plus grande superficie possible : le seul moyen mécanique était de les abattre pour pouvoir saigner le tronc tout entier, chose facile à la hache, l'Hevœa n'étant pas dur; un Hévé de grosseur moyenne est abattu en cinq minutes par un bûcheron. La dynamite, au moyen de deux trous forés sur deux faces opposées à inégale hauteur, est un moyen que nous ne conseillons pas; la violence du choc paraît avoir une influence sur la sève, qui remonte immédiatement et semble vouloir se réfugier à l'autre extrémité, jusque dans les petites branches, le pétiole et même les feuilles; la scie, de tous les moyens, est un des meilleurs, car elle ne produit pas d'ébranlement.

Le gouvernement colombien permet l'abattage des arbres à lait, pratiqué en grand dans le Guaviare et dans le Cagno de San-Martin.

Le gouvernement vénézuélien, au contraire, l'interdit sur son territoire, autant que cette interdiction, bien platonique, puisse être contrôlée sur un espace immense et absolument inhabité. En fait, elle est puérile, et nous sommes convaincu que le gouvernement du Vénézuéla, fort libéral et intelligent, bien que voulant défendre son sol et protéger ses innombrables richesses, en bon patriote, donnera toute latitude pour couper les arbres qu'on voudra, le jour où on lui aura démontré, comme nous le faisons ici, qu'une invasion de Huns peut s'abattre sur le Cassiquiare sans aucun danger. Voilà en effet une immense forêt, lieu d'élection du caoutchouc qui y vit en famille, forêt de quelques millions d'hectares, et qui exigerait plusieurs millions d'hommes pour être exploitée, une forêt qui ne renferme pas trois mille Indiens, dont on ne saurait dire que l'on enlève le pain, car on ne parvient pas à en faire travailler le cinquième; forêt colossale de mystère et de richesse, impénétrée, insoupçonnée, dont les arbres à lait coupés, rasés, sont de nouveau d'eux-mêmes en rapport au bout de cinq ans, sans compter leurs rejetons par les racines ou par ensemencement naturel. Mais introduirait-on cinquante, cent mille émigrants, ceux-ci hachant nuit et jour pendant des années, qu'il n'y paraîtrait même pas, tant il semble que les arbres repoussent aussitôt coupés! Sans doute, cette crainte de la disparition des Hevœa du Haut Orénoque part d'un excellent cœur, mais elle est d'une pusillanimité enfantine, et excusable seulement par l'ignorance en cette matière de ceux qui l'ont conçue.

Nous nous sommes beaucoup occupé de ces adorables et étranges fleurs, si merveilleuses et encore si inconnues, les orchidées du Haut Orénoque, qui poussent avec une charmante effronterie jusque sur les Hevœa les plus élevés.

Dans un traité très sérieux sur ces exquis parasites, que nous lisions au cours de notre

[1] *La Lumière Électrique* du 4 mars 1893.

voyage, nous voyons un bon orchidophile, très convaincu, très enthousiaste et très connu, se plaindre avec amertume de l'extension que prend le culte de ces splendides corolles et craindre de voir disparaître dans un avenir prochain la dernière orchidée de la dernière forêt américaine ! Dans notre esprit, nous comparions ces deux chimères, la mort de l'orchidée, la mort de l'Hevœa, cela au moment où la forêt vierge nous écrasait, nous, pauvre insecte, pauvre rien, des grands bras de ses lianes, du sépulcre de son ombre, de la hauteur de ses nobles et majestueux arbres à lait, de toute la terrifiante vie qu'elle jetait en défi aux quatre coins du ciel.

Nous dirons donc : abattez quand vous le pourrez les géants de la forêt, et ne craignez rien ; avant de mourir ils ont assuré une longue et vivace lignée. En les couchant à terre, vous pourrez parfois faire, suivant le cas, un travail singulièrement productif, car vous aurez vidé l'arbre de tout son sang. Malheureusement, ce n'est pas toujours aussi facile qu'on pourrait le croire au premier abord.

Résultats favorables. — L'Indien pique sur une hauteur de 75 centimètres à 1 mètre (grand maximum); admettons ce maximum. Il recueille ainsi 100 grammes de lait.

Au contraire, qu'on abatte l'arbre, qu'on le saigne à fond dans toute son étendue, on forcera à couler tout le lait qui le nourrit, surtout si on eu soin, immédiatement l'arbre abattu, de pratiquer une profonde incision circulaire au niveau de la naissance des grosses branches, pour empêcher la sève de se réfugier vers les extrémités supérieures ; cet arbre donnera ainsi environ 25 litres de lait. Nous en avons plusieurs fois répété l'expérience en braconnage, sans crainte des gendarmes, ni de détériorer la forêt. Une *canoa* (canal) de bambou, placé sous l'arbre abattu, recueillait tout le lait coulant des blessures béantes. Chaque saignée, dans ce système, doit être une simple boutonnière parallèle au grand axe de l'arbre, et ne dépassant guère deux centimètres d'ouverture. De larges sections entourant tout le tronc ne laissent s'écouler que très peu de lait, par un phénomène tout mécanique. — Une goutte devant pousser une autre goutte, sa précédente, et la forcer à tomber, si la blessure est longue et large, le lait se coagule sur ses deux lèvres béantes, en nappe ; la goutte n'existe pas, et rien ne s'écoule, ou à peu près. De même, par une sorte de décortication de l'arbre, le couteau agissant parallèlement au grand axe et faisant sauter des copeaux d'écorce, on n'obtient aucun résultat : nous avons essayé, du reste, tous les modes d'incisions possibles pour recueillir le lait, et nous avons pu nous rendre compte qu'il n'y en a qu'un vraiment efficace : c'est le piquage des Indiens, avec cette différence que si l'arbre est sacrifié, on n'a plus à le ménager comme ils le font ; il faudra donc faire des piqures, des hachures très nombreuses et très rapprochées, afin de soustraire à l'arbre tout son suc.

D'après cela, il semblerait, à première vue, qu'il y ait un immense avantage à couper les arbres et à les épuiser complètement d'un seul coup, la dévastation des arbres n'ayant, nous ne saurions trop le répéter, aucune, absolument aucune importance, car la forêt est inépuisable, indestructible, à moins de la déraciner et d'y faire passer la charrue.

Nous avons donc cru, au début, ce procédé de l'abattage des arbres vraiment merveilleux, ayant à notre disposition le coagulant et l'antiseptique tout prêts pour traiter n'importe quelle quantité de lait ; mais nous devons dire que sa mise à exécution ne nous a pas donné une somme moyenne de résultats sensiblement supérieure à celle des simples piquages journaliers pratiqués à l'instar des Indiens.

Inconvénients de ce système. — Il y a loin, en effet, de la théorie à la pratique. L'arbre est vite coupé, même à la cognée, comme nous le faisions faire généralement, bien que la scie soit préférable, surtout, l'anse galvanique, bien plus expéditive ; si donc l'arbre tombait de suite, le résultat serait rapide, important. Malheureusement, il n'en est rien ; dans un bois aussi fourré, aussi épais qu'une forêt vierge, où voisinent les sujets les plus énormes, un arbre moyen (et le caoutchouc n'est d'ordinaire qu'un arbre moyen) relativement aux autres essences, complètement sectionné à sa base, reste cependant debout, pour ainsi dire ; il est rare que quelques géants, ses voisins, ne le prennent sous leur haute protection et ne défient le pygmée qui l'a attaqué, de le renverser ; de puissantes lianes roulées comme des anneaux de serpents autour de son corps l'étreignent et le fixent à quelque bombax-seiba ou à d'autres colosses de la forêt ; ceux-ci même le soutiennent de leurs branches maî-

tresses; dans ces bois vierges, toutes les cimes se touchent, se confondent, se maintiennent mutuellement, se solidarisent pour résister à l'agent de destruction; quand le tronc est coupé, et qu'à force de patience, d'adresse et de vigueur, on est enfin parvenu à le faire glisser à terre, le sujet cependant reste droit, sa tête retenue par les bras de ses alliés; on a beau se mettre à dix pour le secouer, tirer sur un bout de liane pendante accrochée à ses branches, rien n'y fait, il se refuse à tomber, on a détruit ses pieds, mais on n'aura pas son corps, et il se tient debout sous toute la puissance de ses protecteurs. C'est à ce point que pour « faire toucher les épaules » à un vaincu de la forêt, il faut faire le désert à vingt, trente mètres autour de lui, raser tous les arbres un peu gros du voisinage; *avoir* un arbre suppose donc en avoir fait tomber au préalable une douzaine d'autres d'au moins sa grosseur.

Cependant, il n'est pas utile de le coucher littéralement à terre pour le piquer : il est suffisant d'arriver à le faire pencher suivant un angle qui permette à un homme agile de grimper dessus, et de le piquer, en marchant sur lui jusqu'au faîte; mais obtenir cette inclinaison est déjà d'une très grosse difficulté.

Comparaison des deux systèmes. — Pendant ce temps, on pourrait piquer deux, trois cents arbres préparés par la méthode indienne, et se donner beaucoup moins de mal. Au total, le résultat de la journée, comme caoutchouc produit, est à peu près le même dans les deux cas, mais avec beaucoup plus de facilité d'un côté que de l'autre.

Toutefois, ces deux systèmes méritent d'être employés côte à côte, suivant les circonstances. Si un travailleur voit sur son chemin un Hévé à peu près libre sans lianes — car la forêt vierge a aussi ses clairières, surtout faites par la foudre, — ou, sur le bord d'une rivière, ou assez gros pour écraser et entraîner dans sa chute des voisins moins puissants; ou s'il existe un vide dans lequel l'arbre coupé pourra glisser sans encombre, (on fait toujours tomber un arbre dans une direction voulue, en déterminant d'une façon empirique les points où on l'entaillera), que dans ces cas le travailleur n'hésite pas, qu'il abatte l'arbre et en recueille tout le lait séance tenante. Mais dans la plupart, dans la généralité des cas, c'est au piquage qu'il vaut mieux recourir, en se servant d'échelles portatives afin d'augmenter la surface d'écoulement.

XI. — L'exploitation actuelle.

Les Indiens gomeros. — De l'embouchure de la Vichada, tout le long de l'Orénoque, du Cassiquiare et du Rio Negro, il y a à la saison sèche un grand nombre de chercheurs de caoutchouc, variant suivant les années, appelés *gomeros* au Venezuela et en Colombie, *siringueros* au Brésil.

L'étymologie de ce dernier mot est assez piquante; il paraîtrait que si on a appelé *Siringa* le caoutchouc du Para, c'est qu'autrefois ce caoutchouc affectait la forme de l'insigne de notre confrère Diafoirus au temps de Molière, et que pour insinuer un « remède », les Indiens se servaient de suc d'Hévé moulé à cet effet. Et il y a à peine quelques années que l'on confectionne en Europe des poches destinées à cet usage irrigateur! Quoi qu'il en soit de la roture d'une telle racine, il n'en est pas moins vrai que *siringa* en bon portugais veut dire *seringue* en bon français.

Les Indiens s'établissant toujours sur les bords des rivières, il arrive que sur un espace de près de 3000 kilomètres (les deux rives), leurs picas se touchent en bien des points, malgré le petit nombre des travailleurs : de la *barraca* ou *sitio* d'une famille, on peut souvent aller par pica à la *barraca* de la famille établie en amont ou en aval. — La pica est plus spécialement désignée sous le nom d'*estrada* au Rio Negro, quand elle sert à l'exploitation de la gomme.

Le maximum des travailleurs dans toutes les contrées que nous avons parcourues, n'atteint pas le chiffre de 700; à une moyenne de deux kilomètres par pica individuelle, ils occupent, on le voit, une ligne de 1400 kilomètres de longueur.

Beaucoup de ces *estradas* restent inexploitées de longs mois, parfois des années. La estrada est un fief appartenant à une famille, de père en fils; l'Indien-seigneur la travaille à ses heures, à sa guise, et personne ne s'y installe de longtemps, si lui-même la délaisse. Aussi, se met-il au travail quand il lui plaît, et souvent pas du tout; il est certain de trouver sa pica déjà percée; il n'aura qu'à la déblayer des plantes qui ont pu y pousser depuis son abandon de

l'année précédente; ses arbres sont connus, désignés, prêts à recevoir la liane et à être piqués.

Ce sont là de simples coutumes, aucune loi, aucun décret ne les reconnaît; aussi, sont-elles appelées à disparaître quand des travailleurs viendront de l'étranger.

Nombre des Indiens, ce qu'ils produisent. — Pendant la récolte de 1888-89, le nombre des Indiens travaillant à la gomme était de 756 (notre recensement est exact pour décembre 1888, janvier et février 1889).

C'est, croyons-nous, le maximum qui ait été obtenu, et on ne l'atteindra plus que difficilement.

Cette année-là, en effet, était la dernière année d'exploitation d'une compagnie française établie en ces lieux pour le commerce du caoutchouc.

Ces 756 travailleurs étaient ainsi répartis :

	Travailleurs		Sitios
1° Rio Negro, de l'embouchure du Cassiquiare à la frontière brésilienne, au point dit du Cucui	96	en	19
2° Cassiquiare (et Siapa)	449	—	46
3° Orénoque, du Cassiquiare au raudal de Santa-Barbara, à Patakane	153	—	33
4° Orénoque, de San Fernando de Atabapo au raudal de Guahibos	58	—	12
Totaux	756	en	110

La récolte de cette saison atteignit près de 100 tonnes : mais, par suite de mauvaise organisation, les Indiens ne s'étaient guère établis qu'en décembre, beaucoup même en janvier; le mois de février, très pluvieux, fut à peu près perdu, et les inondations commencèrent tôt, dès la seconde quinzaine de mars. En tenant compte des dimanches et fêtes, du fait que beaucoup d'Indiens n'ayant qu'une exploitation se reposent ainsi un jour sur deux, il n'y eut pas trente jours de travail réel, chaque jour étant réduit à 4 ou 5 heures de travail effectif.

Dans des conditions normales, les Indiens établis depuis septembre ont pu cette année-là, malgré le mauvais temps, produire plus de 300 tonnes par le procédé du fumage.

Nous avons vu quelques Indiens demi-laborieux ayant cependant récolté en ces deux mois plus d'une demi-tonne par tête. On voit par là combien les autres avaient dû se reposer.

Les années suivantes, la société ayant disparu, il a été également fait près de 100 tonnes par an. En 1891-92, les six ou sept employés français qui étaient restés sur les lieux après l'effondrement de la compagnie ont ramassé plus de 80 tonnes.

Cependant il ne nous semble pas qu'il puisse jamais être produit plus de 500 tonnes par an, — si tant est qu'on puisse arriver à ce chiffre, dans les contrées dont nous nous occupons ici. Pour atteindre ce maximum, il faudrait aller recruter les Indiens au fond de leurs villages les plus reculés de la Vichada, de l'Irinida, du Guainia, du Ventuario, et avoir des agents actifs connaissant bien les mœurs, le caractère indiens; mais, tout le long de ces immenses rivières, dans tous ces territoires, il n'y a certainement pas 3000 indigènes.

Il y a donc pénurie de bras, et c'est par l'*émigration seule* qu'on pourra espérer donner à l'exploitation du caoutchouc et de la gutta dans ces parages l'extension qu'elle comporte.

Recrutement et établissement. — Les Indiens gomeros. — Les Indiens qui exploitent le caoutchouc n'habitent pas sur les lieux où pousse l'Hévé — sauf dans quelques points du Rio Negro, où des *lajas* (roches) élevées leur permettent d'être en tout temps à l'abri de l'inondation. Les caoutchoutières sont toujours inondées en hiver et deviennent inhabitables, insalubres, pestilentielles, surtout quand les eaux commencent à baisser; la malaria y règne en maîtresse; même à l'époque sèche, ces lieux sont encore assez malsains, et pleins de moustiques — ce critérium du terrain propre à l'impaludisme : là où il y a des moustiques, en effet, surtout les terribles *sancus* qui percent les cobijas (couvertures de laine) les plus épaisses, fièvre tellurique; là où ils sont absents, absence de fièvre; c'est la règle à peu près générale.

Aussi, en hiver, les Indiens abandonnent-ils leurs *barracas* et rentrent-ils dans leurs villages, échelonnés tout le long de l'Irinida, de l'Atabapo et surtout du Guainia ou Rio-Negro; les abords de cette dernière rivière sont des plus sains. Le climat est enchanteur : une brise fraîche, le dernier souffle des vents qui passent sur les glacis des Andes, des nuages tempérant l'ardeur du soleil, une eau délicieuse, savou-

reuse et saine, la merveilleuse eau ambrée du Rio Negro, l'absence complète de moustiques et de fièvre, méritent bien à cette délicieuse et immense vallée, le nom de « Paradis terrestre », que lui donna Humboldt quand il la découvrit. Nous avons vu des Européens minés par les fièvres contractées dans l'Orénoque, rongés par l'impaludisme, vidés par la dysenterie, s'y rétablir complètement en peu de semaines, et y jouir dorénavant d'une santé parfaite.

Le plus grand inconvénient, le seul de ces rives privilégiées, est dans la présence de vampires — mucielagos — en grand nombre, qui empêchent de profiter de la fraîcheur des nuits et obligent le dormeur à chercher sous l'étouffante moustiquaire un abri contre leur morsure qui le mettrait sur le flanc pour plusieurs jours.

Les Indiens hivernent donc toujours dans leurs villages, *Alta Gracia*, *Tiriquin, Democracia*, *Gusman Blanco*, *San-Juan, Baltazar,* enfin le plus grand de tous (500 âmes), *Yavita*, dans l'isthme de Pimitchin, étroit dos d'âne qui sépare le bassin de l'Orénoque de celui de l'Amazone (Guainia).

Là, dans leurs *conucos* (jardins potagers ?), ils se livrent à la culture du manioc, de la canne, du *platano* (sorte de banane), à la chasse, à la pêche, et... à l'ivresse du *bourréché*.

Dans le Cassiquiare et le Rio Negro, l'Indien vit uniquement de manioc (ou *casave*) et de poisson pris au cacuré (nasse de bois inamovible), puis fumé par le même bois que le caoutchouc; ce poisson lui sert à faire le *sancoch*, soupe délicieuse pour lui, dont nous nous sommes nourri exclusivement pendant plusieurs mois, et qui nous répugnait souverainement.

Pour décider les Indiens à quitter leurs villages, il faut toute espèce de précautions et une certaine habileté. C'est là l'affaire des *contratistas*. Le contractiste est un *racional* (national par opposition aux sauvages, aux *Indios* auxquels on n'accorde pas l'épithète de citoyen du Vénézuéla) c'est-à-dire un Vénézuélien habitant un des *pueblos* de l'Orénoque, tels que Maipures, San Fernando; ou du Rio Negro, comme Marsa, San Felipe ou San Carlos; ces Vénézuéliens sont d'ordinaire des métis provenant de croisements de blancs avec des Indiens, plus rarement avec des nègres; certains même appartiennent à la pure race blanche.

Le *racional* ou contractiste a un crédit ouvert d'importance variable, selon sa notoriété, dans une maison de commerce de Ciudad-Bolivar sur l'Orénoque, ou de Manaos sur l'Amazone, Là, il va, après la récolte, faire des achats, toujours à crédit, de toutes les denrées que demandera l'Indien pour travailler; il alimente son crédit avec le caoutchouc produit pendant la dernière saison; il est fait à certains Vénézuéliens que l'on sait de « bonne paye » des crédits s'élevant jusqu'à 25 et 30 mille piastres (100 et 120 mille francs). Les achats de marchandises finis, il les transporte dans le haut Orénoque et le Rio Negro, et s'occupe de la question la plus importante : le *casave*, ce pain des Indiens, qu'il est parfois obligé d'aller chercher fort loin dans la Vichada, l'Irinida, le haut Guainia.

Ces préparatifs lui prennent toute la saison sèche. Il ne lui reste plus qu'à aller dans les villages embaucher les indigènes. Ceux-ci, en effet, ne se décident à partir que si le contractiste leur donne *recurso* et *corotes*, c'est-à-dire les moyens de subsister et des marchandises, coutellerie, indiennes, calicot, fil, aiguilles, poudre de riz, cosmétiques et parfums, pétrole, bougie, graisse, sel, etc. En outre. le contractiste est seul chargé de fournir les Indiens de pain, de manioc pendant toute la *cosecha* (récolte); il doit donc avoir suffisamment prévu ces avances pour le nombre d'Indiens qu'il compte établir; il leur donne ses marchandises avant même le départ; sans cela les Indiens consentent rarement à se résoudre au travail. Ensuite, ceux-ci remettent peu à peu au contractiste le caoutchouc fait. Mais celui-ci est obligé d'aller le chercher lui-même, de visiter souvent ses *barracas*, et de tenir à ses travailleurs la dragée haute et de les surveiller de près, s'il veut rentrer dans ses déboursés; jamais il ne paie les Indiens en argent, le vil métal n'ayant pour eux aucun sens, ni aucune valeur généralement.

Le caoutchouc fin (1re qualité) est payé aux Indiens de 1,50 à 2 francs la livre vénézuélienne (450 grammes), *et toujours en nature*, disions-nous, *jamais en espèces*; aussi le courtier ou contractiste gagne-t-il le plus possible sur la marchandise d'échange; nous avons vu exiger la remise de 3 et 4 kilos de caoutchouc pour un couvert en métal blanc; l'indienne et le calicot (qualité de 25 centimes le mètre à Paris) se vendent communément 2 francs la *vare* (0,90 m.), souvent bien davantage; le prix de la pelote de

fil d'un sou est d'un *real* vénézuélien (10 sous); le real est, du reste, la plus petite monnaie divisionnaire.

Si un groupe d'Européens partait avec cent mille francs de marchandises françaises achetées en fabrique pour payer du caoutchouc fait, celui-ci ne leur reviendrait pas à plus de un franc cinquante le kilogramme, et encore en exploitant moins les Indiens qu'ils n'y sont habitués; ce groupe rapporterait en échange 80 ou 100 tonnes de caoutchouc.

Si l'Indien a produit beaucoup de caoutchouc, à la fin de la récolte il a envie de tout ce qu'il voit; nous leur avons vu vendre des bottes à l'écuyère, des costumes militaires français fripés, un habit d'académicien! des violons, des guitares, des boîtes à musique, surtout des machines à coudre, le rêve de toute famille indienne; il n'y a pour ainsi dire pas dans le Rio Negro de case où on ne rencontre une machine à coudre payée de 1000 à 1200 francs. — En principe, on exploite les Indiens le plus possible; il est vrai que ceux-ci se défendent par toutes sortes de tricheries.

Parmi les contractistes, nous avons connu des gens de parfaite bonne foi, intelligents, serviables et travailleurs. Le principal d'entre eux, le général Andres L..., appartenant à une des meilleures familles blanches de la République, est célèbre: c'est le vrai roi du Rio Negro. D'une rare énergie, dur à lui-même, excellent commerçant, c'est un homme fort honorable, respectueux de la parole donnée, très obligeant et fort entendu; il ne demande qu'à s'aboucher avec des Français; il nous a rendu de précieux services; ses Indiens seuls produisent, bon an, mal an, une quarantaine de tonnes de caoutchouc.

D'autres sont plus douteux au point de vue moral; parfois vicieux, intrigants, gloutons, ivrognes, paresseux et véritables « paniers percés ». Rien de curieux comme l'aspect de certains *pueblos* vénézuéliens à la fin de la récolte; des contractistes ont souvent dix mille francs de gain, parfois légitimes, mais parfois aussi qui devraient servir à payer leurs créanciers de Ciudad-Bolivar. A ce moment, le *champagne* coule, les caisses de cognac (à raison de 15 francs la bouteille) sont éventrées; on boit jusqu'à ce qu'il n'y ait plus une goutte d'alcool dans le pays; les nuits se terminent par le fameux jeu de dés, de *toca-pinto* où les onces d'or (l'once vaut 82 francs) courent sur la table et changent de propriétaire avec une rapidité à faire frémir nos plus enragés clubmen; puis arrive en dernier quelque adroit joueur qui râfle le tout... et disparaît.

L'or et l'argent sont, il est vrai, devenus rares depuis la disparition de la compagnie française.

Les regateones. — Un autre système d'achat de caoutchouc aux Indiens consiste dans le *regatteage*. Un *racional* qui a pu se procurer quelque marchandise suit les baraques d'Indiens et enlève le caoutchouc — dû parfois à un contractiste. Cette opération, cette sorte d'*écumage*, exige des aptitudes spéciales, de la rapidité, de l'habileté, une grande habitude de la conscience et des mœurs des Indiens, dont il faut savoir exciter la convoitise, ou profiter des besoins. Quand la gomme est déjà due à celui qui a installé la *barraca*, elle est d'ordinaire enlevée à vil prix. C'est le seul cas où l'Indien se montre coulant et de bonne composition.

XII. — L'Exploitation de l'avenir

Migration indienne. — Les bras manquent, avons-nous dit, dans l'Orénoque et dans le Rio Negro; cependant, avec de l'intelligence, du savoir-faire et une bonne organisation, on pourrait facilement produire un important courant de migration du Brésil et de la Colombie; du Haut Caura, du Ventuario, du Haut Irinida, du Haut Guaïnia, du Meta, du Sipapo, de la Vichada, etc.

L'Indien, descendant des terribles Caraïbes, est un être doux et craintif; quand on connaît bien ses mœurs et qu'on les observe, quand on le traite avec affabilité, quoique fermement, surtout avec un grand sentiment de justice, on l'attire et on le met facilement au travail. Exploités et maltraités jusqu'ici, ils fuient l'Européen comme le diable; mais, nous en avons fait l'expérience par nous-même, ils reviennent à la longue et parfois sont franchement dévoués; nous-même, après avoir couru au début de véritables dangers, nous avons fini par être autant en sécurité au milieu des peuplades indiennes que nous connaissions, que sur le boulevard des Italiens à l'heure de l'apéritif! Il n'y a, pour ainsi dire pas de tribus où l'on n'ait quelque teinte du catholicisme, et il nous a été donné

d'assister à de touchantes et naïves cérémonies où le prêtre était le *capitan!* Combien, en maintes circonstances, nous avons admiré le génie des Espagnols, ces maîtres colonisateurs, pour avoir su implanter chez ces primitifs un cachet aussi ineffaçable de civilisation et quelquefois de véritable grandeur. Nous avons, par exemple, retrouvé six canons de fort calibre à San Carlos de Rio Negro, à plus de 2,000 kilomètres de la mer! traînés là une époque où les moyens de traction et de locomotion étaient loin d'être ce qu'ils sont de nos jours.

Emigration étrangère. — Mais l'exploitation en grand ne pourra être faite qu'au moyen de l'émigration étrangère, là est la vraie solution. Les émigrants passeraient, comme les Indiens, l'été, époque de la récolte, dans les caoutchoucs; et l'hiver dans le Haut Rio Negro, où ils pourraient se livrer à diverses cultures, celle du maïs ou de la canne en particulier. Ces terrains vierges sont extrêmement fertiles; une plantation de canne à sucre y vit 25 ou 30 ans; le maïs donne trois ou quatre récoltes par an. Nous ne dirons rien des légumes, ayant mangé en salade des haricots verts au bout d'un mois de semence!

Passons donc rapidement en revue les moyens de communication à employer pour qu'un certain nombre d'hommes puissent atterrir dans ces lieux avec leurs provisions, et pour en faire sortir une grosse quantité de produits.

Deux voies s'offrent à nous :

1° *Voie de l'Orénoque* (Ciudad-Bolivar, Vénézuéla). — C'est la mauvaise voie; c'est un des motifs pour lesquels la compagnie établie dans l'Orénoque y a sombré : il y a eu de ce chef, et par suite d'ignorance des lieux, d'incapacité, de mauvaise administration, des dépenses énormes en travaux, transports, etc. Même avec une organisation parfaite, cette voie serait toujours onéreuse.

En effet, en outre de cinq ou six rapides, difficiles, mais cependant navigables à la vapeur avec une bonne connaissance des lieux, l'Orénoque est barré à son cours moyen par deux rapides (*raudals*) absolument infranchissables; cette région des rapides sera toujours une barrière pour la navigation; il faudrait pouvoir la tourner au moyen d'un canal ou d'un chemin de fer; elle a un peu plus de quatre-vingt kilomètres, et la rive gauche de l'Orénoque est la seule praticable. Le premier rapide se nomme *Raudal d'Atures*, le second *Raudal de Maipures*, mais, entre les deux, le fleuve est libre pendant plus de six mois de l'année; le transbordement par terre est de 18 kilomètres pour tourner les premières chutes, de 8 pour tourner les secondes; à force d'énergie et d'argent, on avait réussi à lancer des bateaux à vapeur entre les rapides et au-dessus d'eux, ayant dû les mettre à terre plusieurs fois.

L'Orénoque, de San Fernando au Cassiquiare, et le Cassiquiare sont à peu près navigables en hiver; en été l'Orénoque se barre au-dessus de San Fernando (*raudal de Santa Barbara*); quant au Cassiquiare, il se sèche au point que la batellerie à la rame y devient elle-même impossible.

2° *Voie du Rio Negro* (Manaos, Brésil). — C'est la vraie route; on peut la considérer comme libre pendant au moins cinq mois de l'année, ce qui est suffisant pour assurer les transports, au moyen d'un steamer ne calant pas plus de trois pieds et demi en charge.

Des bateaux à vapeur vont de Manaos à Tapurucuara une fois par mois.

Le Rio Negro a deux rapides (*raudal de Santa Barbara* et *raudal de San Gabriel*) qui peuvent être franchis en hiver; tout au plus y aurait-il à faire sauter quelques roches; bref, ils n'opposent pas une vraie barrière.

La preuve en est qu'en 1882 un bateau à vapeur portant à son bord la commission vénézuélo-brésilienne chargée de fixer exactement les limites des deux pays est parti de Manaos et est entré dans le Cassiquiare.

3° *Voies intérieures.* — Les seules communications possibles dans l'intérieur de ces contrées sont les rivières ou ruisseaux. Il serait même difficile de percer des routes au sein de ces forêts; elles seraient inondées et obstruées de bois mort pendant la saison des pluies.

C'est ainsi que nous-même avons dû reconnaître et étudier le pays, passant des mois entiers dans un canot (piragua) monté par quatre Indiens, partant le matin à cinq heures, nous reposant dans la journée une heure pour cuire et manger le *sancoch* et naviguant jusqu'à ce que la nuit noire nous obligeât à nous arrêter. Ce moyen de locomotion est vraiment horrible; le jour, dévoré par un soleil de feu, assis sur une étroite planchette, forcé de garder une immobi-

lité absolue, car le moindre faux mouvement ferait chavirer la frêle embarcation; la nuit, obligé de tendre notre hamac entre deux arbres sur des rives inhabitées, recevant des averses diluviennes, dont on n'a aucune idée dans nos pays, harassé par les moustiques, vivant d'eau, de manioc et de poisson fumé, nous avons ainsi vu se dérouler, sur le long ruban de la rivière sans fin, les jours toujours semblables, sous un ciel éternellement, implacablement pur, les nuits humides et sans sommeil, et les semaines s'écoulaient lentement, chacune longue comme une année; et nous ne parlons pas des dangers de toute sorte...

Ces voyages sont torturants, affreux, car la donnée essentielle pour marcher un peu est d'avoir une barque aussi légère que possible, non encombrée de bagages, juste suffisante pour supporter le poids des voyageurs; le *chinchorro* (hamac), la *cobija* (couverture), une chemise, un pantalon, un casque, un *mapiré* (panier) de manioc, un peu de rhum, quelques poissons fumés, un fusil, un couteau, une marmite, du sel, tels sont les objets que l'on a avec soi, ou sur soi. Sitôt que l'on veut se donner un peu de confortable, on est obligé d'avoir une pirogue plus grande, plus lourde, et on ne marche plus.

Il est impossible de se chausser : les pieds nus constituent le seul mode de chaussure; sinon les pieds sont toujours dans l'eau, même au fond de la barque, en atterrissant, et le cuir finit par être traversé. Nous sommes resté pendant près d'un an sans nous chausser.

Desechos. — On n'est pas toujours tenu de suivre les grandes voies; ainsi qu'on peut le voir sur la carte, la plupart des rivières communiquent entre elles par d'autres rivières ou des ruisseaux, secs en été, mais navigables en hiver; aussi les Indiens pour aller du Guainia dans le Cassiquiare ne font pas le tour par l'embouchure des deux fleuves, mais suivent un cours d'eau qui leur sert de trait d'union. Le Cassiquiare communique avec le Rio Negro par le Pacimone et le Cababuri, très au-dessous du raudal de San Gabriel; de même encore, le haut Caura communique avec le haut Ventuario, etc.

Dans la saison des pluies, à l'époque des hautes eaux, il n'y a plus de lits, plus de rives, tout le pays est converti en un immense lac; à ce moment, pour aller d'un point à un autre, on pique droit dessus et on fait du chemin; des indications auxquelles l'Indien ne se trompe jamais, une entaille à un arbre, une branche cassée, lui permettent de se guider sûrement dans le dédale des arbres inondés. Rien de splendide et d'original comme un voyage dans ces conditions; on vogue sous bois, protégé de la chaleur par la verdure, mais il est impossible de mettre pied à terre, puisque la terre est à plusieurs mètres sous l'eau; la question de passer la nuit n'est pas toujours facile à résoudre; cependant les Indiens s'arrangent généralement pour trouver un gîte, une roche qui émerge, ou même simplement le *chinchorro* est accroché à un arbre au-dessus de l'eau; ces sentiers d'hiver sont appelés *desechos* dans la langue du pays.

Conclusion. — Nous en avons fini avec les grandes lignes de la question du caoutchouc du haut Orénoque et de l'Amazone; nous avons eu à cœur de toucher à toutes les questions qui s'y rattachent, et qui seraient utiles à connaître si l'on voulait aller travailler ces riches forêts au moyen de l'élément étranger.

Nous remercions notre excellent ami, le comte L. de B., qui a longtemps été agent général de la Compagnie dans le haut fleuve, du concours qu'il nous a donné pour aboutir dans nos études, il connaissait à fond la question; avec sa rare intelligence, il eût certainement donné de l'extension à l'exploitation, s'il eût eu des coudées libres

Certains explorateurs ont voulu faire un mystère du travail du caoutchouc; d'aucuns même disent posséder un secret, dont ils ne parlent qu'avec réticence et à demi-mot, pour préparer instantanément le caoutchouc; l'acide sulfurique pourrait bien être le dernier mot de l'énigme... et de leur science; mais nous croyons que la question de l'antiseptie, tout aussi importante, leur a échappé.

Pour nous, qui n'avons pas voulu avoir de prétexte à brevet, ni à aucune spéculation financière, nous avons tenu à étaler au grand jour tout ce que nous savons sur les arbres à lait et sur la voie à suivre, et à donner nos formules complètes, dans l'espoir que cette étude, connue de tous, sera utile à la science en général et à l'industrie de notre pays en particulier.

Dr Lucien Morisse.

FAITS DIVERS

La transmission électrique d'un incendie n'est pas un cas fréquent; il s'est présenté dernièrement à Greend, aux Etats-Unis. Dans cette localité une usine fut entièrement détruite par un incendie dont on ne réussit pas tout d'abord à découvrir la cause. Mais on apprit qu'à 50 kilomètres de là, à Binghampton, un contact d'une ligne téléphonique avec un circuit d'éclairage avait amené la destruction des coupe-circuit de sûreté de tous les circuits téléphoniques. Seul, le coupe-circuit faisant partie des appareils installés à l'usine de Greend n'avait pas fonctionné, ce qui a dû être la cause de l'incendie.

Voici, d'après l'*Electrical Review*, de Londres, une méthode actuellement en usage en Angleterre pour obtenir des dépôts de métaux, comme le cuivre et l'argent, sur certaines parties de la surface des objets en porcelaine et en faïence, dans le but de décorer ces objets, tout en leur donnant une plus grande résistance.

La surface des objets est d'abord couverte d'une pâte formée de la manière suivante :

Azotate d'argent.....	120	parties
Azotate de mercure.....	20	—
Bromure de sodium.....	30	—
Oxyde de bismuth.....	10	—

Les objets ainsi enduits sont ensuite soumis à la cuisson dans des fours à poteries, puis on les place dans un bain électrolytique, où la surface préparée ne tarde pas à se couvrir d'une couche métallique fortement adhérente.

Un verre capable d'absorber les rayons de chaleur pourrait avoir de nombreuses applications industrielles. Le *Dingler's Polytechnisches Journal* décrit de nombreuses expériences faites pour la recherche d'un verre imperméable aux rayons calorifiques. Le verre présentant ces propriétés aurait la composition suivante : 70 parties de sable, 25 parties de kaolin, 34 parties de soude. Après fusion de ce mélange, on y trouve par analyse 74,6 o/o de silice 8,4 o/o d'alumine, des traces de fer, 15,4 o/o de soude, 0,9 o/o de chaux. Une plaque de ce verre de 7,6 millimètres d'épaisseur ne laisse passer que 11 à 12 o/o de la chaleur rayonnée par un bec papillon.

D'après l'*Electrical World*, plus de 30 kilomètres de la voie du fameux chemin de fer à grande vitesse de Chicago à Saint-Louis sont terminés. Ce projet menaçait de tomber dans l'oubli; si notre confrère est bien informé, nous pouvons espérer voir réaliser cette année une des merveilles les plus attrayantes du World's Fair.

On dit que les concessionnaires sont MM. Bagnall frères, de Saint-Louis, et Givens frères, de Memphis. Ces maisons sont bien connues pour avoir établi plus de 2500 kilomètres de chemins de fer dans l'ouest et le sud de l'Amérique.

Le capital mis en œuvre est de 27 500 000 francs. La limite assignée pour l'exécution complète des travaux est d'un an; mais on espère avoir terminé en automne prochain. Nos lecteurs savent qu'au début l'on annonçait avec assurance que la ligne serait mise en service pour l'ouverture de l'Exposition de Chicago.

L'*Electrical Review* de Londres signale un précurseur de Franklin. Procopius Diwisch, professeur de philosophie au lycée de Luka (Bohême), et qui vécut de 1696 à 1765, aurait établi le premier paratonnerre le 15 juin 1754. Comme Franklin, Diwisch aurait eu contre lui et les préjugés populaires et les savants officiels de cette époque; mais, moins heureux que l'illustre Américain, il aurait été contraint, en 1756, d'enlever son paratonnerre auquel les paysans attribuaient la sécheresse terrible qui signala l'été de cette année.

Il ne faut pas oublier que si Franklin construisit en 1755 seulement son premier paratonnerre, il avait indiqué, dès 1749 les expériences à faire pour soutirer aux nuages orageux leur électricité au moyen de pointes métalliques.

Presque toutes les machines dans l'industrie, quelle que soit la prépondérance du métal dans leur construction, contiennent soit des organes, soit des revêtements d'organes en bois exposés à l'humidité. Voici une formule donnée par le *Génie civil*, qui permet de les soustraire aux inconvénients de l'humidité et à ses détériorations, tout en leur conservant un aspect satisfaisant et propre.

On fait fondre dans une marmite en fer :

Colophane.....	275	grammes.
Fleur de soufre.....	500	—
Huile de poisson.....	75	—

Lorsque la dissolution est complète, on ajoute, pour colorer, une petite quantité d'ocre jaune ou rouge ou d'oxyde coloré, broyé dans l'huile de lin, et l'on remue fortement le tout, afin de bien mélanger. On obtient ainsi une sorte de peinture que l'on applique bouillante à deux couches, en laissant bien sécher la première; le bois ainsi revêtu défie la vapeur, le brouillard et l'humidité.

La compagnie Westinghouse, prévoyant que sous peu on adoptera de très grandes vitesses pour les trains de chemin de fer, a mis en expérience dans ces derniers six mois un nouveau système de frein qui présente l'avantage d'appliquer non seulement une force retardatrice constante à la marche du train, mais qui fait varier celle-ci proportionnellement à la vitesse.

On annonce que les expériences préliminaires prouvent qu'un train peut être arrêté au moyen de cet appareil sur les trois quarts de la distance requise par l'ancien dispositif de freins.

A la suite d'une tempête dans le Sud-Ouest, douze poteaux télégraphiques ont été renversés près de Coutras. Les communications électriques ont été interrompues pendant deux jours entre Paris et Madrid ainsi qu'avec Pau et Bayonne. Toulouse a éprouvé une interruption de sept heures, et Bordeaux doit à ses fils souterrains d'avoir pu communiquer presque normalement.

Les abonnés des distributions électriques ont un moyen bien simple de chauffer leurs bottines, par les temps humides. Il suffit pour cela de placer dans chaque bottine pendant cinq minutes une lampe à incandescence; les lampes à faible rendement lumineux sont, dans cette application spéciale, les meilleures. Le plaisir de pouvoir fourrer ses pieds dans une chaussure agréablement chauffée est d'un prix de revient qui ne dépasse pas 1 centime.

Un de nos confrères donne même le conseil peu honnête de placer les deux lampes en série, parce que, dit-il, le faible courant que l'on utiliserait ainsi ne ferait certainement pas marcher le compteur, ce qui ferait tomber le prix de revient à zéro!

Les journaux politiques annoncent qu'au 1er avril prochain la lumière électrique sera installée sur le boulevard Saint-Michel entre la rue des Écoles et la rue Royer-Collard, desservant la nouvelle Sorbonne et quelques établissements du boulevard.

Le ministre de l'instruction publique vient de visiter les laboratoires de l'École Normale. M. Violle a montré un spécimen du four électrique dont il a pu récemment mesurer la température au moyen des méthodes photométriques et calorimétriques que nos lecteurs connaissent : c'est, comme nous l'avons dit, avec ce four que M. Moissan a pu réaliser un certain nombre d'expériences de fusion et de cristallisation.

Au laboratoire de chimie, M. Joly a présenté le four électrique à charbons inclinés de MM. Ducretet et Lejeune, dans lequel il a pu fondre en plusieurs fois 2 kilog. d'un métal difficilement fusible au chalumeau oxhydrique, le ruthénium. M. Joly, en faisant visiter l'installation électrique du laboratoire, a appelé l'attention du ministre sur les transformations des méthodes de travail des chimistes qui emploient maintenant des appareils et des procédés jusqu'ici réservés aux physiciens.

Nous croyons que dans les nouveaux laboratoires de la Sorbonne on aménagera tout le matériel nécessaire pour l'utilisation de l'électricité, et comme sources de chaleur et comme agent de combinaison et de décomposition des corps

Dans un cas de paralysie des extenseurs de la main chez un hystérique, M. Constantin Paul applique le long du bras un aimant de grande dimension. Ce qu'il y a de remarquable dans ce cas, c'est que si l'on intervertit dans l'application de l'aimant l'ordre des pôles, le sujet sait fort bien le reconnaître, et affirme que seule l'application du pôle sud lui procure un appaisement des contractions toujours douloureuses. Cette méthode thérapeutique mériterait d'être étudiée et peut-être généralisée.

Les méthodes actuellement en usage pour les signaux à la mer au moyen de pavillons et aussi de feux sont, comme on le sait, assez pénibles et donnent lieu trop souvent à des ambiguités et même à des erreurs. Les signaux du téléphote sont moins sujets à ces inconvénients; ils correspondent à l'alphabet Morse et sont reproduits par l'illumination convenable de signaux le long d'un mât.

L'appareil transmetteur est contenu dans une boîte métallique en aluminium, de forme irrégulière, occupant une surface de 23 décimètres carrés, sur une profondeur de 0,15 mètre; il comporte un clavier avec 37 lettres, chiffres, etc. Les communications électriques, excessivement nombreuses, sont réunies en dehors de l'appareil en un câble de 31 mm. de diamètre qui va jusqu'au mât à signaux. Celui-ci, également en aluminium, est formé de trois parties disposées de façon que les parties extrêmes puissent être rabattues sur la partie centrale. Le mât mesure alors 2,75 mètres, tandis qu'étendu il atteint 8,20 mètres.

Il porte 106 lampes à incandescence de 32 bougies (on peut se servir de lampes plus puissantes, jusqu'à 110 bougies, et allonger le mât jusqu'à 8,50 ou 9 mètres) qui, lorsqu'on appuie sur telle ou telle touche du transmetteur, se combinant entre elles de manière à reproduire le signe correspondant de l'alphabet Morse.

Chaque lampe est reliée à des fils, et un numéro affecté à chacune d'elles et reproduit aux jonctions sur le clavier, permet de localiser tout de suite les défectuosités s'il vient à s'en produire. Deux lampes forment un point du code Morse et le minimum des traits est de 20 lampes, soit 1,50 mètre; les espaces obscurs entre les traits et les points sont également de 1,50 mètre; enfin, deux lumières rouges marquent les périodes.

Les signaux peuvent être produits horizontalement, il suffit de placer le mât dans une position horizontale. Enfin, un mécanisme simple permet de transposer les lettres et caractères comme on le veut, de manière à pouvoir correspondre secrètement

A terre, l'appareil peut être utilisé avec une voiture portant les appareils nécessaires pour le relèvement et

l'abaissement du mât à signaux. Le téléphote permet de transmettre 72 lettres à la minute; les signaux sont visibles très nettement à 4800 mètres pendant le jour et 16 kilomètres pendant la nuit; il n'est pas besoin d'insister sur les services que pourrait rendre cet appareil au point de vue militaire.

Un nouveau tramway à conducteur aérien est projeté dans le Nord; ce tramway relierait Tourcoing et Roubaix.

L'Association Britannique tiendra sa réunion de 1893 à une époque plus tardive que d'ordinaire. La réunion commencera le 13 septembre seulement à Nottingham sous la présidence de M. Sanderson, professeur de physiologie à l'Université d'Oxford.

La ville de Nottingham, située presque au milieu de l'Angleterre, est en communication rapide avec tous les ports du royaume. Elle est au milieu d'un district météorologique très instructif à visiter; elle est riche en souvenirs historiques et en établissements d'instruction publique, ainsi qu'en manufactures. Son climat est très salubre, et les habitants feront de grands efforts pour attirer les étrangers qui, depuis quelques années, suivent moins fréquemment les séances de l'Association Britannique.

La prévision du temps à l'aide de la télégraphie n'a pas donné, à beaucoup près, les résultats que nous en attendions, au point de vue pratique, lorsque Le Verrier a imaginé cette application nouvelle de l'électricité pendant la guerre de Crimée, à propos du naufrage du *Henri IV* et du *Royal Georges*.

Lors de la cérémonie d'installation du président Cleveland, M. Harrington, président du Bureau central américain, fut consulté le 3 mars pour savoir si on aurait du beau temps le lendemain. Le *New York Herald* nous apprend qu'il répondit que l'on pouvait compter sur un temps magnifique. On eut un temps épouvantable, chute de neige, de verglas, etc., etc. Jamais on n'avait vu à Washington un pareil *blizzard*.

Cette mésaventure qui a fait beaucoup rire les journaux de New-York montre que la prévision du temps n'est pas une affaire de formules, et que si les télégrammes météorologiques sont d'un prix inestimable, ils ne conduisent à la vérité, que quand ils sont accompagnés par l'étude des phénomènes naturels.

Il y a quelques années on découvrit à 40 kilomètres de la station de Koirily, sur le chemin de fer transcaucasien, de riches gisements de manganèse d'excellente qualité, gisements ayant d'ailleurs l'énorme superficie de 217 kilomètres carrés.

En 1879, un représentant de la maison Krupp tentait les premiers essais d'exploitation; depuis lors, le manganèse est transporté vers Poti et vers Batoum, où l'on procède à son embarquement.

En 1886, on expédiait ainsi de ces ports 54717 tonnes de manganèse; puis 59 332 en 1887, 51 919 en 1889, et 130 698 en 1890. C'est Poti qui est le grand centre de ce commerce, et la plus grande partie du minerai est envoyée en Angleterre. Le minerai revient assez cher, le coût d'extraction varie de 3 à 5 francs la tonne; en outre les frais de transport sont élevés.

Quand le chemin de fer de Shorapan à Tchiaturi sera construit et que l'exploitation se fera mieux, dit la *Nature*, ces gisements fourniront une énorme quantité de manganèse.

Eclairage électrique.

Un fanal électrique portatif a été expérimenté par les officiers du génie russe pour l'inspection des tranchées, des mines et des dépôts d'engins explosifs. L'appareil se compose d'un tube de 0,91 m. de longueur, dans lequel sont superposés un grand nombre de minuscules éléments.

La puissance éclairante est relativement grande. Le fanal se trouve à l'extrémité supérieure du tube; il est formé par des lames de verre épaisses protégeant le filament incandescent contenu dans l'intérieur. L'intensité est réglée par une vis placée à la partie inférieure du tube. Il est probable que cet appareil sera adopté avant peu par le gouvernement russe.

Une société vient d'établir l'éclairage électrique à Lyon dans le quartier des Célestins. La distribution se fait sans emprunter la voie publique, au moyen de fils nus placés sur des supports isolants au-dessus des toits des immeubles et descendant dans l'intérieur des cours pour pénétrer chez les abonnés.

L'installation a été faite par la maison Alioth, de Bâle. Elle se compose de deux chaudières multitubulaires de 44 mètres carrés de surface de chauffe, sortant des ateliers de la maison Bonnet et Spazzin, de Lyon; d'une machine à vapeur Pignet de 50 à 80 chevaux; d'une dynamo Alioth de 250 ampères et 170 volts; d'une batterie d'accumulateurs Tudor.

Cette compagnie livre le courant au compteur à raison de 10 centimes l'hectowatt-heure. Le nombre des lampes souscrites actuellement est de 460, et sous peu ce nombre sera doublé.

Des installations électriques seront prochainement faites sur les quais de Honfleur. Une usine alimentera un certain nombre de lampes à arc montées sur pylones pour éclairer une partie des quais et des terre-pleins du port.

Le concessionnaire sera tenu également, dans la limite es disponibilités, de livrer à l'administration, lorsqu'elle en fera la demande, de l'électricité pour la manœuvre des ngins mobiles ou fixes employés dans les opérations relatives à l'exploitation du port.

Bien que le prix de revient des lampes électriques à incandescence ait depuis cinq ans baissé de moitié, grâce aux progrès réalisés dans la fabrication et surtout à la concurrence des fabricants, il ne semble pas que le dernier mot soit dit. La Compagnie Westinghouse fait annoncer dans les journaux qu'elle fournit ses nouvelles lampes au tarif de 1,75 fr. les 25 et 20 bougies, et 1,50 fr. les 16, 10 et 8 bougies, avec remises variant de 2 à 10 0/0 suivant les quantités. Les globes des lampes usées sont même repris à la fabrique pour 0,50 fr. l'un, de sorte qu'avec un peu d'ordre les dépenses de remplacement varient par lampe de 0,85 à 1 franc, tout compte fait. Dans ces conditions, les consommateurs auraient vraiment mauvaise grâce à trop laisser durer leurs lampes et à ne pas se conformer à la théorie qui veut que leur existence soit courte, mais bonne.

Cette nécessité de remplacer les lampes nous paraissait un des ennuis que le public supporterait le plus difficilement. Il n'en est rien, et l'habitude est si bien prise que le gaz en profite à son tour. Depuis quelques mois, nous avons vu se multiplier les applications du bec Auer perfectionné, dans lequel le gaz porte à l'incandescence un capuchon ou manchon de gaze imprégnée de sels métalliques. Il y a dix ans, la seule idée de substituer aux brûleurs ordinaires, papillons, Manchester ou Argand, un bec muni d'une mèche, faisait bondir les gaziers; il y avait là une complication inadmissible, c'était un retour à la lampe à huile qu'il faut faire tous les jours, tandis qu'on ne touche jamais à un bec de gaz.

L'objection n'était pas sans valeur: on n'en tient aucun compte aujourd'hui. Sans doute, ajoute la *Revue industrielle*, il faut faire la part de l'éducation du client; mais le nouveau bec Auer offre jusqu'à présent de tels avantages, au point de vue de l'éclairage et de l'économie, qu'on est disposé à subir ses petites infirmités. L'incandescence par le gaz se rapproche beaucoup de l'arc voltaïque par la teinte de la lumière; elle donne la carcel pour une dépense de 25 litres et peut-être moins; avec elle, l'élévation de température et la production d'acide carbonique sont réduites de moitié ou des deux tiers, à égalité de lumière produite Il est vrai que l'appareil est fragile et coûte cher.

Télégraphie et Téléphonie.

Nous avons déjà résumé les parties du rapport de M. de Selves relatives aux améliorations apportées au service des postes et télégraphes du 1er janvier 1890 à fin décembre 1892.

Voici la fin de ce rapport :

SERVICE TÉLÉPHONIQUE

Réseaux urbains. — Les tarifs d'abonnement ont été réduits. Le nombre des abonnés est passé de 11 440 à 18 171 ; à Paris seulement il est passé de 6 255 à 9 965. — Le nombre des réseaux urbains est passé de 40 à 112. — Un décret du 1er mai 1891 a organisé un service de messages téléphonés.

Réseaux interurbains. — Ces réseaux sont passés de 11 à 16.

Bureaux téléphoniques municipaux. — 153 bureaux ont été créés.

ARTICLES D'ARGENT

Le service des mandats-cartes a été étendu à tous les bureaux de France et d'Algérie.

Le public a été admis à expédier par la poste ses envois contre remboursement jusqu'à la somme de 2 000 fr.

Le bénéfice de la réexpédition des correspondances a été étendu aux valeurs à recouvrer par la poste.

Le service des abonnements aux journaux par la poste a été étendu aux relations entre la France et les colonies.

CAISSE NATIONALE D'ÉPARGNE

Des succursales au nombre de vingt-deux ont été créées dans les départements et un certain nombre de départements ont été rattachés à chaque succursale. Des succursales étrangères ont été créées à Smyrne et Salonique.

PERSONNEL

Une indemnité de séjour de 100 francs par an a été allouée aux agents et sous-agents de l'administration centrale. Le maximum de traitement des gardiens de bureaux a été porté de 1 8000 à 2 000 francs.

Cent-vingt emplois de commis ont été transformés en emplois de commis principal.

Le traitement de début des commis auxiliaires a été porté de 600 à 1000 francs, les augmentations de 100 à 200 francs, le maximum de 1800 à 2 400 francs.

Le traitement de début des receveurs et receveuses de bureaux simples a été porté de 800 à 1000 francs; celui des dames employées a été porté de 600 à 800 francs.

Le maximum de traitement des courriers convoyeurs est fixé à 2000 francs, au lieu de 1800 francs.

Les hautes payes des facteurs boîtiers, locaux et ruraux ont été augmentées.

L'administration des postes et télégraphes est donc en bonne voie; espérons qu'elle ne s'en arrêtera pas là et que nous aurons bientôt de nouvelles améliorations à signaler.

Imprimeur-Gérant : V. Nory.

Imprimerie de La Lumière Électrique. — Paris
31, boulevard des Italiens.

La Lumière Électrique

Journal universel d'Électricité

31, Boulevard des Italiens, Paris

DIRECTEUR : Dr CORNÉLIUS HERZ

XVe ANNÉE (TOME XLVII) SAMEDI 18 MARS 1893 N° 11

SOMMAIRE. — L'action de l'électricité sur la vapeur d'eau et la production artificielle de la pluie ; G. Pellissier. — Collecteur de l'électricité atmosphérique donnant des étincelles par un ciel pur, sans pluie ou bourrasque à distance; L. Palmieri. — Les lampes à arc; Gustave Richard. — Les expériences de lord Armstrong; J. Blondin. — Chronique et revue de la presse industrielle : Compteurs pendulaires Edmondson et Oulton. — Sur la détermination des défauts d'isolement des canalisations électriques en service, par M. O. Frœlich. — Les divers projets d'éclairage électrique de Budapest. — L'utilisation des forces naturelles (moulins à vent). — Protecteur et contrôleur de transformateurs de Brown. — Revue des travaux récents en électricité : Société internationale des électriciens (séance du 1er mars 1893). — Relation entre la force électromotrice voltaïque et la pression, par G. Gore. — Les propriétés électriques des substances pures (la préparation de l'azote pur et les tentatives faites pour le condenser), par R. Threlfall. — Impédance d'un circuit formé de dérivations, par M Alex. Russell. — Expériences de décharges électriques de haute fréquence, par A. Campbell Swinton. — Les effets physiologiques et autres des courants de haute fréquence, par M. Nikola Tesla — Recherches expérimentales sur les transformateurs à courants alternatifs, par M. J.-A. Fleming. — Variétés : Le développement de l'électricité; W.-H. Preece. — Faits divers.

L'ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ
SUR LA VAPEUR D'EAU
ET LA PRODUCTION ARTIFICIELLE DE LA PLUIE

Des expériences ont été faites au mois d'août 1891, dans le Texas, sous la direction du général Dyrenforth, pour le compte du gouvernement américain, en vue de provoquer la résolution des nuages en pluie au moyen de fortes explosions de poudre et de dynamite dans les régions élevées de l'atmosphère. Les idées théoriques et les faits d'expérience sur lesquels on se basait étaient des plus discutables et les résultats furent loin d'être probants. On comprendra que nous n'ayons pas l'attention de discuter ici ces tentatives, et nous n'en parlerions même pas si elles n'avaient eu le privilège d'attirer l'attention et de déterminer de nombreuses inventions et de procédés pour atteindre le même résultat.

Parmi ces procédés, celui qu'a proposé M. le lieutenant-colonel Baudouin intéresse particulièrement les électriciens; il est d'ailleurs extrêmement simple. Il consiste à lancer vers les nuées aquifères un cerf-volant électrique ou un ballon captif dont le câble porterait une âme conductrice. Voici comment M. Baudouin expose ses idées :

« Les nuages et le sol sont électrisés en sens contraire et peuvent être assimilés à un grand électrophore mobile. Lorsqu'un nuage, au moment de s'élever, est en contact avec la terre, il s'établit un courant électrique qui a pour effet de dissocier les éléments constitutifs de l'eau. Le nuage ayant définitivement quitté la terre, si l'air est humide, les pertes continuelles empêcheront l'électricité de s'accumuler, mais si l'air est suffisamment sec, le nuage conservera sa charge positive et, lorsqu'il se trouvera dans des circonstances favorables, assez près du sol, une décharge se produira.

« Or, ce fait se présente dès que le nuage rencontre un corps conducteur élevé, une montagne par exemple.

« La fermeture du courant amènera la combinaison des éléments de l'eau qui avaient été dissociés lors du contact du nuage avec le sol, avant son départ. Il se produira une certaine quantité d'eau qui agira sur la vapeur dont le reste du nuage est formé, comme le fait la pompe à injection sur la vapeur d'une machine à condensation, et le nuage se résoudra en pluie.

« S'il existe d'autres nuages à proximité, le contact se propagera de l'un à l'autre, et l'orage se continuera ainsi tant que la résistance de l'air pourra être vaincue. Pendant les fortes chaleurs, les nuages échauffés augmentent de

volume, deviennent plus légers et s'élèvent davantage. Ils ne sont plus arrêtés dans la course que leur imprime le vent que par les hautes montagnes. Les pays qui ne possèdent que des mamelons sont exposés à une sécheresse complète, tandis que les pays situés près des chaînes de montagnes se voient assaillis par de violents orages.

« On ne peut pas abaisser les nuages vers le sol, mais on peut élever vers eux des corps métalliques non isolés, soit en employant un ballon captif de faible capacité, soit plus économiquement, un cerf-volant. Les effets que nous avons indiqués plus haut se produiront et le nuage se résoudra en pluie.

« Ainsi, on pourra obtenir de la pluie sur un endroit déterminé dès qu'il se présentera un nuage que son élévation ferait passer hors de portée du sol et que le vent pousserait vers d'autres contrées. Chaque commune pourra donc posséder un appareil spécial tout comme elle a une pompe à incendie. En cas de sécheresse, elle aurait là un sûr moyen de donner de l'eau aux cultures de ses habitants. L'instituteur et quelques-uns de ses élèves suffiraient à la manipulation.

« Comme fait à l'appui de cette théorie, on peut citer le cas bien connu de la presqu'île indo-chinoise; une seule chaîne de montagne la partage en deux parties : à l'ouest, la Cochinchine; à l'est, l'Annam proprement dit. Lorsque la mousson est établie par les vents d'est, l'Annam jouit de la saison pluvieuse et la Cochinchine française est en pleine sécheresse. Le contraire se produit lorsque les vents soufflent de l'ouest. »

La théorie émise par M. Baudouin nous semble assez difficile à admettre, mais l'idée en elle-même de lancer un cerf-volant vers les nuages pour provoquer leur résolution en pluie mérite qu'on s'y arrête. Elle a du reste été déjà proposée.

Un brevet a été délivré en Autriche, en 1874, croyons-nous, pour « un appareil à décharger l'électricité des nuages à grêle. » Après avoir retracé la théorie de la formation de la grêle, l'inventeur ajoute que si un ballon armé de tiges métalliques ou recouvert de métal est élevé vers un nuage à grêle chargé d'électricité, cette dernière s'écoule à la terre par le fil de cuivre qui tient le ballon captif, et l'humidité du nuage ne se congèle pas, mais tombe à terre sous forme de pluie. C'est l'idée des paragrêles, en vogue au commencement du siècle.

On a fait aussi remarquer que dans les expériences de Franklin, de Romas et d'autres savants qui ont étudié l'électricité atmosphérique à l'aide des cerfs-volants, la pluie s'est mise à tomber presque aussitôt après que le cerf-volant fut lancé; il ne faut pas oublier toutefois que ces expériences ont été faites au moment d'un orage, alors que la chute de pluie était imminente, ce qui ôte une grande valeur à ces observations.

Enfin, comme dernier argument, on a insisté sur ce fait que la pluie commence à tomber ou redouble de violence, dans les orages, au moment même où un éclair se produit. De là à provoquer la chute artificielle de la pluie en élevant un corps conducteur vers le nuage orageux pour déterminer un éclair à volonté, il n'y avait qu'un pas.

Mais la pluie est-elle la cause ou la conséquence de la décharge électrique? Un nuage est un amas de vapeur d'eau qui contient des gouttelettes d'eau extrêmement ténues et dont le poids est trop faible pour qu'elles puissent tomber à terre. Lorsque, pour une cause quelconque, ces gouttelettes viennent à augmenter de volume, elles acquièrent un poids suffisant pour tomber en pluie; la grosseur excessive des gouttes de pluie d'orage indique que l'électricité joue un rôle important dans ce phénomène, mais quel rôle? On est loin encore d'être d'accord.

On admet généralement que, chaque particule aqueuse en suspension dans le nuage étant électrisée, la réunion de plusieurs gouttelettes en une seule a pour effet d'accroître énormément le potentiel de l'ensemble, car la goutte ainsi formée a une surface beaucoup moindre que la somme des surfaces des particules qui ont participé à sa formation, tandis qu'elle contient une quantité d'électricité directement proportionnelle au nombre de particules réunies. La chute de la pluie serait donc la cause et non la conséquence de l'éclair. Il reste à établir comment la réunion des gouttelettes en gouttes s'effectue et à déterminer quel peut être le rôle de l'électricité dans ces phénomènes.

Les belles expériences de lord Rayleigh [1],

[1] *Proc. Roy. Soc.*, 5 mai 1879, et C. V. Boys, *Bulles de savon*, Paris, Gauthier-Villars et fils, 1892.

sur les phénomènes capillaires permettent de répondre en partie. Si l'on met en action un petit jet d'eau presque vertical d'environ 1 millimètre de diamètre, le jet cylindrique ne tarde pas à se séparer en une multitude de gouttelettes qui s'entrechoquent et rebondissent les unes sur les autres en s'éparpillant. Mais si l'on approche un bâton de cire à cacheter convenablement électrisé, les gouttelettes cessent de se séparer et tombent en grosses gouttes qui rappellent, par le bruit qu'elles font en tombant, les pluies d'orage.

De même, si l'on dispose deux petits jets d'eau presque horizontaux, qui se rencontrent sous un angle aigu, ils rebondiront l'un sur l'autre au lieu de se mêler, tandis qu'ils s'uniront si l'on approche un corps électrisé. On sait que ces phénomènes sont dus à la tension superficielle; l'attraction qui résulte de l'électrisation des gouttes ou des jets d'eau détermine leur réunion.

On peut aussi rapprocher de ces phénomènes ceux que Guitard a découverts en 1850 et que MM. J. W. Clark et Lodge ont observés indépendamment il y a quelques années; nous voulons parler de l'agrégation des poussières contenues dans l'air sous l'action de l'électricité. Lorsqu'on électrise un espace d'air chargé de poussières ou de fumées, on voit toutes les parcicules se porter l'une vers l'autre et s'assembler en plaques ou en filets; l'air ne tarde pas à être purifié, soit par l'attraction des parois du vase où se fait l'expérience soit par la seule action de la pesanteur. « Le même phénomène s'observe avec de la vapeur d'eau visible semblable aux nuages ou au brouillard: *un nuage exposé de cette façon à un champ électrique non uniforme pourrait donc être résolu en pluie* (1). On doit, en effet, se souvenir que, dans un certain sens, les nuages *pleuvent* toujours : les globules d'eau tombent toujours dans l'air; seulement, la vitesse de chute est si faible que les courants ascendants font plus que la contrebalancer, ou encore, les gouttes s'évaporent en route. Pour qu'elles puissent atteindre la terre, il faut seulement accélérer leur descente en augmentant leur dimension; c'est ce que l'électrisation voisine peut justement accomplir, d'abord en réunissant les petits globules en gouttes, qui commencent à tomber sous forme de pluie fine et rebondissent les unes contre les autres; si elles passent près d'un corps électrisé, leurs collisions détermineront leur réunion, et la rapidité de leur chute augmentera de violence.

« Ces expériences apportent une vive lumière sur la relation qui peut exister entre la pluie et l'état électrique de l'atmosphère; elles rendent probable cette supposition que le temps est beaucoup plus affecté par les conditions électriques qu'on ne le supposait; et si jamais il pouvait être, d'une façon ou d'une autre, commandé artificiellement, ce serait par l'agencement de grandes usines qui fourniraient de l'électricité à haute tension d'un signe déterminé; peut-être faudrait-il rapprocher des sources de signe contraire, afin d'assurer l'inégalité nécessaire du champ, car une uniformité parfaite de celui-ci tendrait à garder les globules séparés, et déterminerait du brouillard. »

Enfin un dernier ordre de phénomènes semble étroitement lié à cet important sujet : c'est l'action, découverte par Helmholtz, de l'électricité sur un nuage de vapeur d'eau; un nuage de vapeur d'eau à basse pression qui présente l'aspect blanchâtre ordinaire bien connu, devient opaque, noir, et rappelle les nuées orageuses, dès qu'on dirige sur lui la décharge d'une pointe électrique.

Ce curieux phénomène a été étudié depuis par MM. Shelford Bidwell (1) et John Aitken (2).

M. Bidwell conclut de l'examen spectroscopique de la lumière transmise à travers le jet de vapeur dans les deux conditions, que dans le jet électrisé les gouttelettes étaient plus grosses que dans la condensation ordinaire; il pense que cette augmentation dans les dimensions est due à ce que l'électrisation détermine les petites gouttelettes à s'unir et à former de larges gouttes. A l'appui de cette opinion, il cite les expériences de Lord Rayleigh sur l'électrisation des jets d'eau.

Ce savant n'avait pas avancé son opinion comme définitive, et la conclusion de M. John Aitken est tout opposée.

Ses expériences tendent à faire admettre que la condensation dense n'est pas due à une aug-

(1) Lodge, *Lightning conductors* — Whittaker et Cº Londres, 1892, p. 6.

(1) *Philosophical Magazine*, février 1890.
(2) *Proceedings of the Royal Society*, 1892.

mentation des dimensions de chaque goutte, mais bien plutôt à une augmentation du nombre de ces gouttes accompagnée d'une diminution correspondante de leurs dimensions.

Dans toutes ces expériences la vapeur était générée dans une chaudière en cuivre qui permettait d'obtenir une pression d'une atmosphère. L'ajutage par lequel s'échappait la vapeur était placé à quelque distance de la chaudière pour éviter que les gaz chauds eussent quelque influence sur le jet. La vapeur était dirigée dans un tuyau métallique et un orifice d'écoulement de l'eau de condensation était placé près du bec d'échappement afin d'éviter les irrégularités qui se seraient produites si cette eau avait pu s'échapper avec la vapeur. Le bec d'écoulement employé dans presque toutes ces expériences était en cuivre soigneusement percé d'un trou de 1 millimètre de diamètre; le diamètre de ce trou allait s'élargissant vers l'intérieur, tandis que l'extérieur était tourné en forme de tranche fine sur le devant. Le savant anglais a aussi employé des vases et des ajutages en verre ou autres substances, mais sans différence sensible dans les résultats.

Lorsque le jet de vapeur s'échappe dans l'air, il en résulte une condensation immédiate par suite de l'expansion et du mélange de la vapeur avec l'air froid. Le jet devient donc visible en raison de la lumière que réfléchissent les minuscules gouttelettes d'eau entraînées dans le mélange d'air et de vapeur. L'électrisation ne serait qu'une des nombreuses causes qui changent l'apparence de la vapeur qui se condense [1].

L'effet de l'électricité est certainement très remarquable.

A l'instant même où le jet de vapeur est électrisé il devient beaucoup plus dense, et les particules d'eau condensée deviennent aussi visibles beaucoup plus près du bec d'échappement. Pour la facilité de la description, nous appellerons cette seconde forme de condensation la *condensation dense*, par opposition à la *condensation ordinaire*; non qu'il y ait une ligne de démarcation nette et tranchée entre ces deux formes et qu'on puisse passer de l'une à l'autre par degrés insensibles; tout ce qu'il faut entendre par là, c'est que l'une est dense, comparée avec l'autre.

Les expériences avec l'électricité se font toujours sur de la vapeur à basse pression, car, à partir d'une certaine pression la condensation dense se produit et aucune cause extérieure ne peut amener d'augmentation dans la densité; la source d'électricité était faible : une machine électrique à cylindre de verre de l'ancien modèle qui, dans l'atmosphère humide produite par le jet de vapeur, n'était capable de donner qu'une étincelle de 1 centimètre et même moins en général.

La condition nécessaire pour que l'électricité produise un effet quelconque sur le jet de vapeur est que les particules d'eau qu'entraîne celui-ci soient électrisées par une décharge directe ou par une décharge d'induction. La simple présence d'un corps électrisé dans le voisinage de la vapeur n'a aucune influence. Pour qu'il produise un effet quelconque, le corps électrisé doit être terminé en une pointe placée près du jet, et le potentiel doit être assez élevé pour déterminer une décharge d'électricité sur ce dernier. Lorsque cette condition est réalisée, le jet devient de suite dense et reste ainsi tant que la décharge continue. Le corps électrisé peut cependant agir par induction. Si, par exemple, on emploie une sphère et que le bec d'échappement soit rond, la présence du corps électrisé n'a pas d'influence, car il ne se produit aucune décharge d'électricité. Mais si l'on tient une aiguille ou tout autre conducteur pointu auprès du jet, celui-ci devient dense par la décharge d'induction de la pointe. Au lieu d'une pointe on peut employer une flamme ou, en général, une influence quelconque capable d'électriser les vésicules d'eau entraînées par le jet de vapeur.

Une autre façon d'exécuter cette expérience est d'isoler la chaudière et de l'électriser. Si l'ajutage est pointu, la condensation dense se produit immédiatement, mais s'il est de forme ronde l'électrisation reste sans effet. Si, cependant, nous approchons une aiguille ou une flamme de l'extrémité arrondie de l'ajutage, le jet devient dense.

[1] M. John Aitken étudie dans son mémoire les quatre autres causes suivantes : augmentation du nombre des poussières contenues dans l'air; refroidissement de l'air; grande pression de la vapeur; écran devant le jet, et becs d'échappement rugueux et irréguliers ; il étudie également les phénomènes lumineux qui accompagnaient cette condensation; nous ne nous occuperons que des passages ayant trait à l'électricité.

M. J. Aitken suppose que l'action de l'électricité sur le jet doit être à peu près la suivante : Dans un jet de vapeur, le rapide mouvement des gouttelettes donne naissance à de fréquents chocs qui entraînent la réunion de plusieurs gouttes en une seule, de sorte que chaque goutte, dans la condensation ordinaire, est formée d'un certain nombre de vésicules élémentaires ; mais quand on approche le corps électrisé, les gouttelettes se repoussent mutuellement et ne peuvent venir en contact, il y a donc un plus grand nombre de particules dans un jet de vapeur dense et électrisé que dans de la vapeur ordinaire.

Les expériences de lord Rayleigh sur l'action de l'électricité sur les jets d'eau corroborent cette supposition. Il a montré que, pour produire la réunion des gouttes, l'électrisation doit être très faible, et il a aussi fait remarquer que cet effet semblait être dû moins à l'électrisation qu'à la différence d'électrisation qui déterminerait une décharge d'électricité entre les gouttes, d'où rupture des vésicules et réunion des gouttelettes. D'autre part, il a montré que lorsque l'électrisation est forte et les conditions telles que les gouttes soient électrisées, l'effet est diamétralement opposé : au lieu que les gouttes se réunissent en un filet d'eau continu, elles se dispersent beaucoup plus que dans les cas ordinaires (1). Il est aussi évident, d'après les conditions des expériences avec des jets de vapeur électrisée, que les gouttes sont électrisées et sont par conséquent dans les mêmes conditions que le jet d'eau qui se disperse. On est par conséquent autorisé à supposer que l'électrisation prévient au lieu de seconder la réunion des vésicules élémentaires.

D'autres considérations aussi conduisent à penser que l'accroissement de densité du jet est du à une augmentation et non à une diminution du nombre des gouttes. On sait que si on souffle de la vapeur dans l'air, la condensation sera d'autant moindre qu'il y aura moins de poussières dans l'air ; lorsque l'air est à peu près complètement exempt de poussières, il ne tombe qu'une pluie fine et presque imperceptible à l'œil nu. Ces expériences et d'autres encore tendent à prouver que la condensation dense est due à un grand nombre de gouttes d'eau et la condensation ordinaire à un plus petit nombre de gouttes plus grosses. Le seul cas où il semble que l'augmentation du nombre de particules ne donnerait pas lieu à une augmentation de densité est celui où ces particules seraient trop petites pour réfléchir les ondes d'aucune couleur de lumière, mais ce cas n'a jamais été observé. Quelle que faible que soit l'expansion, un plus grand nombre de particules donne toujours lieu à la condensation dense.

L'action de l'électricité sur le jet de vapeur ne semble pas être une action positive : elle semble consister simplement à empêcher un phénomène qui se produit dans les conditions ordinaires. Par exemple, l'électricité n'a aucun effet sur le nuage de vapeur qui s'élève d'une surface humide et chaude. Le vent électrique provoqué par une pointe et dirigé sur la surface de vaporisation n'a aucun effet sur la densité de la condensation. Il en est de même sur la vapeur qui s'élève d'un vase ouvert. Les petites gouttelettes dans ces conditions se meuvent lentement et n'ont que peu de tendance à se choquer mutuellement ; l'électricité n'a donc qu'un faible nombre de collisions à empêcher et ne produit, dans ce cas, qu'un effet à peu près nul. D'autre part, toutes les autres expériences faites par M. Aitken sur l'action des poussières et des écrans montrent que la condensation dense est due à un accroissement du nombre de particules et que tout ce qui favorise cette condition détermine une augmentation de densité.

Lorsque le jet est électrisé et devient dense, d'autres observateurs ont noté qu'il émet en même temps un son particulier, et M. Aiken a remarqué que le jet commence à « chanter » lorsqu'il devient dense pour une cause quelconque. Lorsque la densité est due à l'électrisation, le son se distingue légèrement de celui qui est émis lorsque la cause est différente. Dans ce dernier cas, le son est semblable à celui que produit le jet frappant un écran. Mais lorsque l'électricité est en jeu, le son est une combinaison de ce bruit et de celui qui est dû à la décharge de l'électricité ; celui-ci dépend de la manière dont la décharge électrique s'effectue. Si la pointe n'est pas aiguë, et que le potentiel soit juste suffisant pour produire une décharge, celle-ci n'est pas continue, mais se produit à courts intervalles ; c'est en définitive

(1) C'est ce qui se produit dans la machine à écoulement de M. W. Thomson (lord Kelvin).

une série de décharges disruptives qui donnent lieu à un bourdonnement de vol. Ce bruit est beaucoup augmenté si la pointe se termine en une petite balle de 1 millimètre environ de diamètre; il est entièrement détruit si nous employons une pointe très effilée, ou mieux une flamme. La décharge avec l'une ou l'autre de ces deux dernières est parfaitement continue et aucun autre bruit ne se peut entendre que celui qui accompagne toutes les formes denses de condensation.

On dit, en général, que l'effet de l'électrisation est soudain et très marqué, que le jet de vapeur n'est pas plus tôt électrisé qu'il devient dense. Ce résultat n'est dû cependant qu'à la manière dont on opère d'ordinaire; une certaine valeur du potentiel est nécessaire pour produire une décharge à la pointe, et lorsque cette condition est réalisée l'électrisation des gouttes est telle que la condensation devient immédiatement très dense. Mais si l'on emploie une pointe d'une acuité extrême ou une flamme, on peut commencer à électriser la vapeur à un très bas potentiel; dans ce cas la condensation se fait par degrés imperceptibles et augmente lentement jusqu'à la forme dense connue lorsqu'on augmente le potentiel.

Nous avons insisté un peu longuement sur ces expériences de M. Aitken, car elles éclairent un phénomène intéressant peu étudié jusqu'ici. Au point de vue particulier de la production artificielle de la pluie, elles tendraient à prouver qu'on n'obtiendrait probablement aucun résultat en élevant des cerfs-volants électriques vers les nuages, car ceux-ci se trouvent dans les mêmes conditions que la vapeur s'élevant librement d'un vase d'eau chaude, sur laquelle l'électricité n'a aucune influence; en déchargeant les nuages de leur électricité au moyen de conducteurs élevés, peut-être faciliterait-on la formation des gouttes en détruisant la force répulsive des particules entre elles; mais la pluie ne pourrait se former que si d'autres circonstances favorables la provoquaient et le cerf-volant ne la ferait tomber que si elle avait « envie de tomber ».

On voit par cet exposé que les opinions sont loin de concorder.

La question est intéressante; elle mériterait d'être étudiée plus à fond.

G. Pellissier.

COLLECTEUR DE L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE

DONNANT DES ÉTINCELLES PAR UN CIEL PUR, SANS PLUIE OU BOURRASQUE A DISTANCE

L'appareil est basé sur ce principe que : un conducteur que l'on élève, à l'air libre, prend de l'électricité positive (par des temps ordinaires), et qu'il prend de l'électricité négative lorsque, après l'avoir déchargé, on l'abaisse. Depuis 1850, époque à laquelle j'entrepris l'étude de ces phénomènes, conjointement à ceux de la

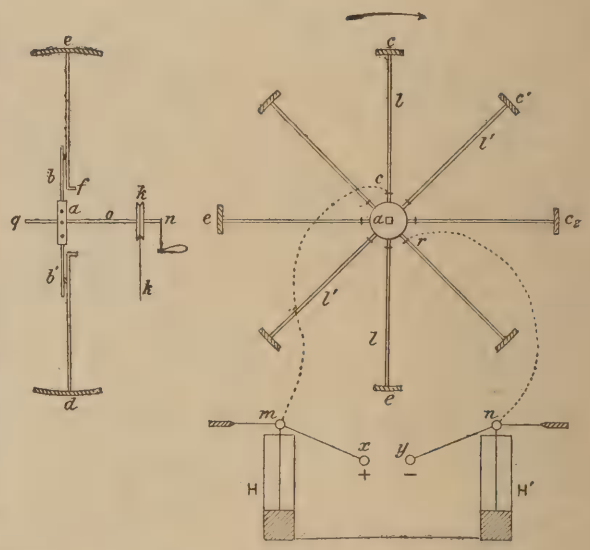


Fig. 1 et 2.

veine liquide ascendante ou *descendante* et d'autres encore que je nommai de *rapprochement* ou *d'éloignement*, j'eus l'idée de construire une machine électrique rotative qui devint une source d'électricité pendant les journées calmes et sereines. J'en fis jadis exécuter un modèle tout à fait grossier qui figure dans diverses éditions de mes *Leçons de Physique*, mais je me proposais toujours de lui donner une forme convenable avec adjonction d'un condensateur approprié.

C'est ce modèle que je représente ci-dessus de façon purement schématique pour en faire saisir d'un coup d'œil les dispositions essentielles.

Soit un disque de bois *a* (fig. 1 et 2) sur le pourtour duquel s'enfoncent radialement huit

tiges isolantes *b b'*, etc. Ces huit tiges supportent un nombre égal de conducteurs *l l'*, etc., terminés, en haut, par des lamelles *c c'*, etc., de faible largeur et de longueur quelconque, et en bas, c'est-à-dire près du disque en bois, par de petits retours d'équerre *f*. Tout l'équipage, roue et rayons, peut tourner rapidement autour d'un axe *q, n, o*, soit par l'effet d'une manivelle, soit à l'aide d'une corde sans fin *k*. Un ressort ou languette de métal touche le retour d'équerre *f* de chaque rayon qui vient se placer sur la verticale supérieure, et un second ressort, semblable au premier, appuie sur l'équerre des rayons qui passent sur la verticale inférieure; de telle façon que l'on recueille en *c* de l'électricité positive et en *r* de l'électricité négative. En H et H' se trouvent deux bouteilles de Leyde analogues aux types couramment employés dans les récentes machines à influence, Tœpler, Holtz, etc., en sorte que l'électricité positive provenant de *c* se rend en *m* et l'électricité négative provenant de *r* arrive en *n*. En se condensant elles agiront de manière à ce que *x* et *y* représentent les pôles + et — de l'appareil, et les étincelles jailliront entre les boules *x* et *y*,

Tel est le collecteur dans toute sa simplicité. Dans cette note je n'ai voulu qu'en faire connaître les dispositions principales, me réservant de revenir sur les effets qu'il permet d'obtenir.

L. Palmieri.

LES LAMPES A ARC (1)

La lampe différentielle d'*Elihu Thomson* représentée par les figures 1 à 12 est remarquable par quelques détails de construction très bien étudiés.

Les électro-aimants en série D et en dérivation S agissent en opposition sur le levier coudé L, pivoté en F, et qui commande par le levier flexible K le frein T du charbon supérieur.

Les armatures A et A_2 du levier L ont une forme cylindrique ovale (fig. 4) et peuvent se fixer dans leurs douilles, par une vis de pression G, (fig. 3) dans une orientation telle par rapport

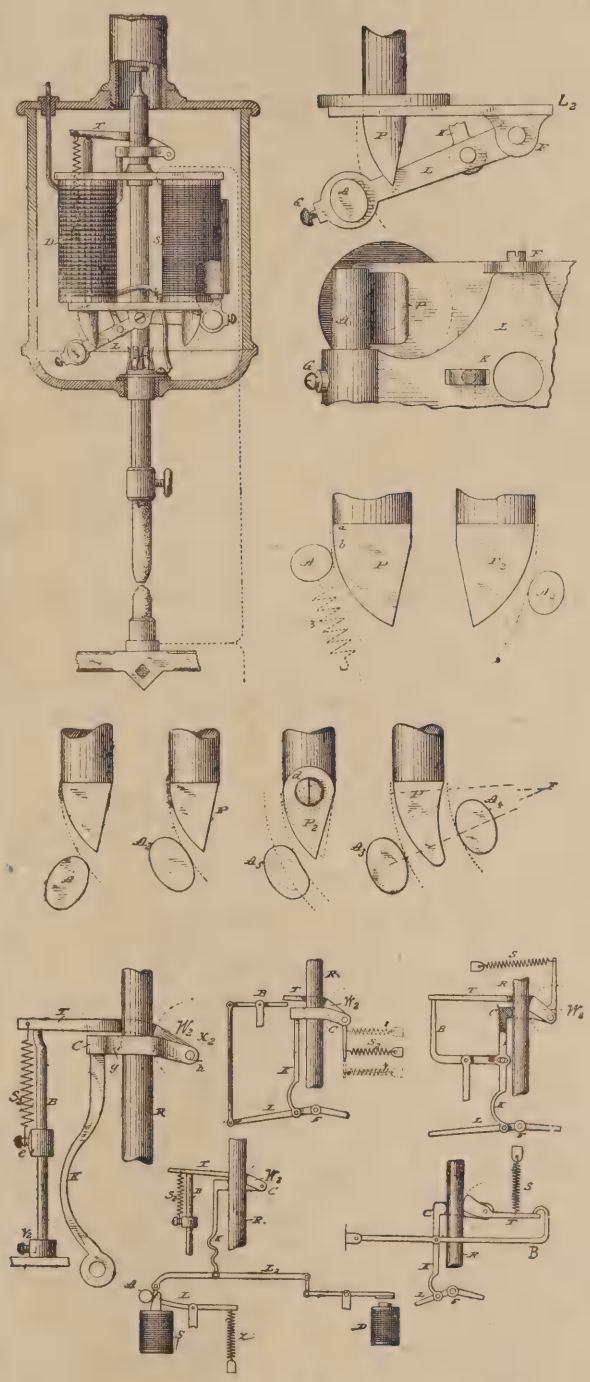


Fig. 1 à 12. — Lampe différentielle E. Thomson.

aux pôles P et P_2 (fig. 2 à 5) de leurs électros que leur attraction reste constante, augmente ou diminue à mesure qu'ils se rapprochent de ces

(1) *La Lumière Electrique*, 28 janvier 1893, p. 158.

pôles sans jamais les toucher. C'est ainsi qu'avec la disposition indiquée en figure 4, l'attraction de l'électro en série diminue, tandis que celle de l'électro P_2 augmente à mesure que leurs armatures s'en rapprochent. On obtient ainsi un amorçage graduel de l'arc et une régularisation extrêmement douce et stable.

On peut, au lieu de faire varier l'orientation des pôles A_2, modifier celle des pièces polaires mobiles autour d'un axe *d* (fig. 6), ou encore, donner le même profil aux deux pôles et combattre l'attraction de l'armature A_2 par un renfort antagoniste 2 (fig. 4). En figure 7, le pôle

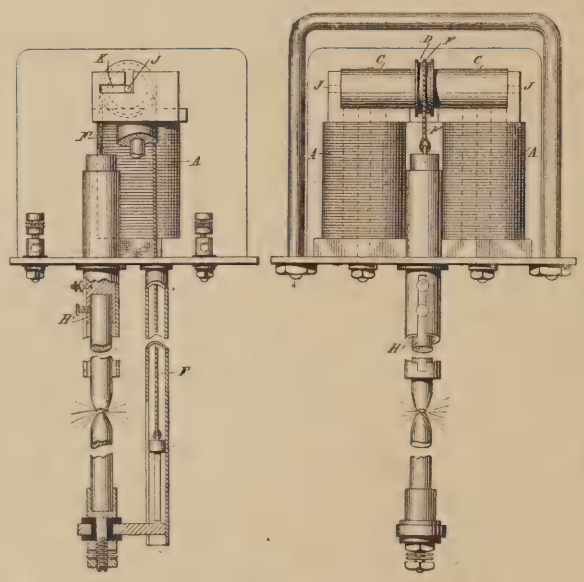


Fig. 13 et 14. — Lampe en série Rathbone et Houghton (1892).

passe entre deux armatures A_3 A_4 qui s'en rapprochent, comme A en figure 4, d'autant moins vite qu'il les soulève davantage. Pendant le trajet *a b*, la distance de l'armature au pôle reste, ainsi que l'attraction, à peu près invariable.

Les armatures, à longues courses avec dashpot J (fig. 1) agissent, comme nous l'avons vu, sur le frein du charbon supérieur par un levier flexible K. Ce levier saisit (fig. 8) le charbon R entre la butée *g* et l'extrémité du bras W_2, pivotée en *h*, mais décrite d'un centre X^2, situé, au droit de *h*, à une distance $hX_2 = \frac{hR}{3}$, et ce serrage est réglé par la tension du ressort S_2, égale au tiers ou à la moitié du poids du charbon R et de ses accessoires.

Lorsque K s'abaisse, sous l'influence de l'électro en dérivation, jusqu'à faire buter le levier T sur la tige B, réglable en V^2, le frein lâche le charbon R, et laisse l'arc se raccourcir à sa longueur normale.

Les figures 9 à 12 indiquent plusieurs variantes de ce frein, à la fois très doux au départ et très sensible. En figure 9, la hauteur de la butée

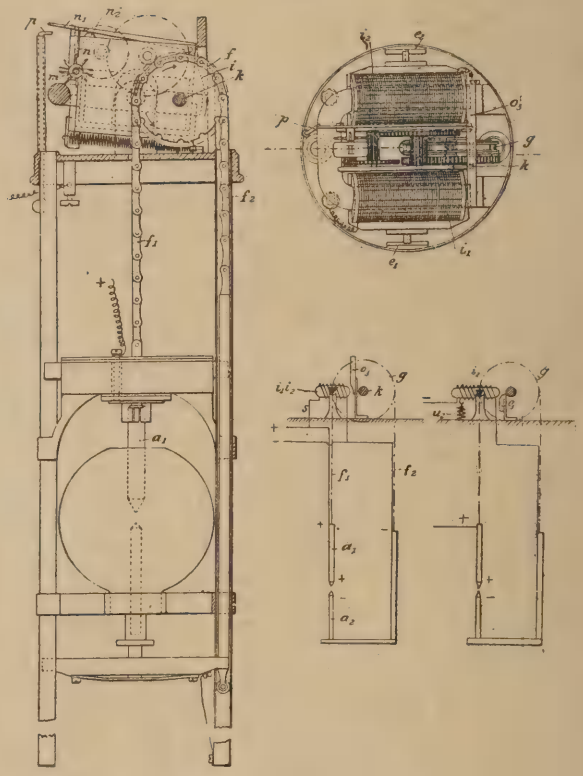


Fig. 15 à 18. — Lampe Hansen (1892).

B est réglée par le levier L, dont l'impulsion contribue ainsi à desserrer le frein malgré le ressort de serrage S_2. En figures 10 et 11, cet effet est rendu plus sensible encore par l'allongement du levier T.

En figure 12, les armatures de l'électro en série D et de l'électro dérivé S ne sont plus directement solidaires. L'amorçage de l'arc se fait par D, qui soulève L_2 et K sans faire mouvoir l'armature L de S, puis S maintient l'arc en agissant sur L, sans toucher à l'armature de D, qui reste attirée sur son électro-aimant.

Le mécanisme de la lampe en série de *Rath-*

bone et Houghton est à la fois simple et très original. A l'amorçage, les électros A A (fig. 13 et 14) attirent au milieu de leurs pôles l'armature roulante C dans la position indiquée en figure 13, de manière qu'elle sépare les charbons par la corde F, malgré la prépondérance du charbon H. Dès que l'arc augmente trop l'armature, rappelée par le balourd de H, roule de droite à gauche, en rapprochant les charbons, jusqu'à une limite fixée par le parcours de ses tourillons J dans les guides K, point à partir duquel elle est obligée de vaincre, pour laisser encore se rapprocher les charbons, la résistance opposée par son frottement sur les pôles de A. La gorge D, où s'enroule

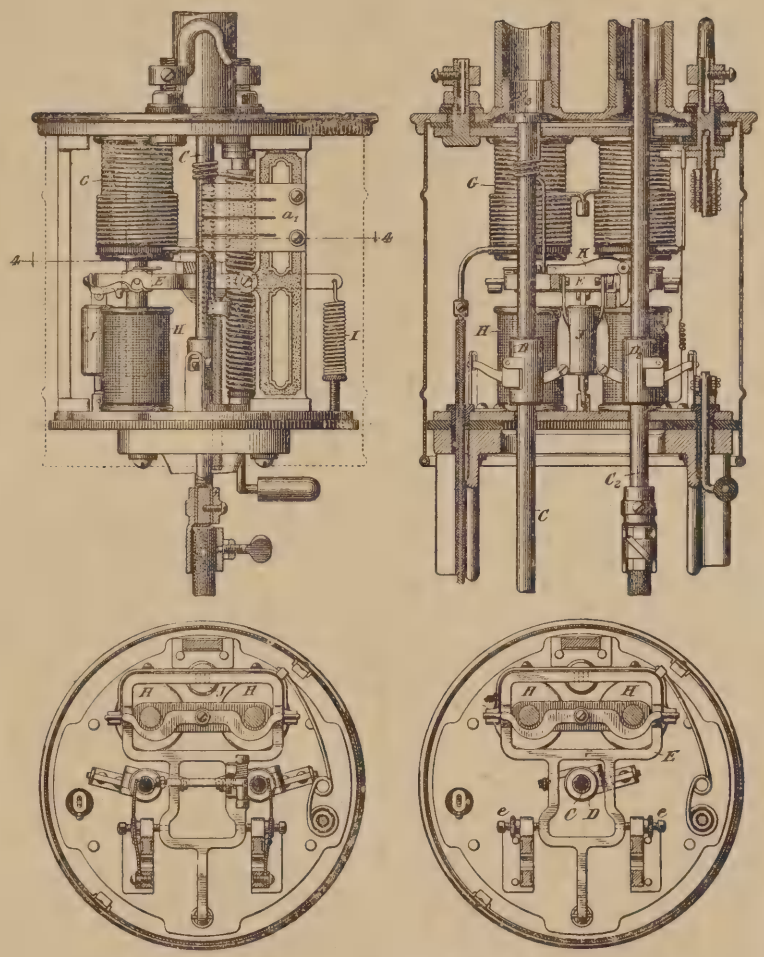


Fig. 19 à 22. — Lampes simple et double Wood (1892).

la corde F, est garnie de caoutchouc qui lui assure l'adhérence nécessaire sans l'obligation de lui faire faire plusieurs tours.

La lampe en dérivation de *Hansen* représentée par les figures 15 à 18 a pour organe régulateur un électro-aimant en fer à cheval $i^1 i^2$, oscillant autour d'un axe horizontal passant par le point où le brin f de la chaîne ff_2 quitte la poulie g, et qui entraîne avec lui dans ses oscillations un train d'horlogerie aboutissant à la roue d'échappement m.

A l'amorçage, les charbons étant séparés comme en figure 15, presque tout le courant passe par la dérivation s à l'électro $i_1 i^2$, qui, attiré sur son pôle fixe a_2, fait basculer le mécanisme, malgré le balourd de sa partie de droite, jusqu'à ce que le ressort n', venant buter en p, déclenche l'échappement n, et permet ainsi au charbon plus lourd a^1 d'entraîner la poulie g rendue folle sur son arc. Aussitôt les charbons au contact, la diminution du courant dans la dérivation laisse le mécanisme revenir vers la

position (fig. 15), où, n ayant renclenché m, le mouvement de bascule vers la droite écarte le charbon inférieur du charbon supérieur, qui reste immobile, jusqu'à l'amorçage de l'arc. Après quoi, la régularisation se maintient, comme dans toutes les lampes en dérivation, par les oscillations du mécanisme entre les butées h_9 et h_{10}.

Un excentrique n permet de régler l'échappement m en faisant varier la hauteur du ressort n^1.

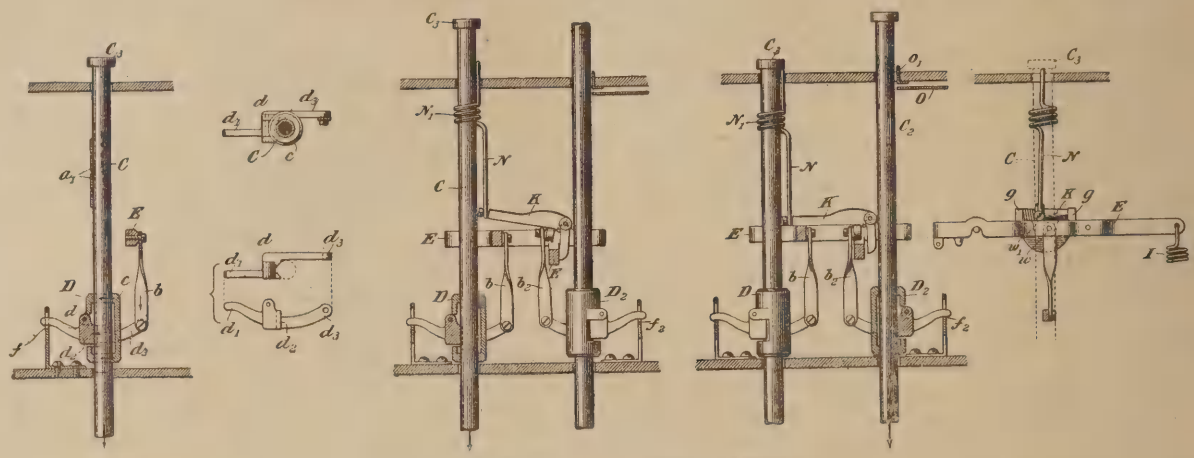


Fig. 24 à 29. — Wood. Détail des freins.

Quand la lampe fonctionne en série, le pôle fixe o^3 est (fig. 18) au-dessous au lieu de se trouver au-dessus de l'électro-aimant $i^1 i^3$, enroulé

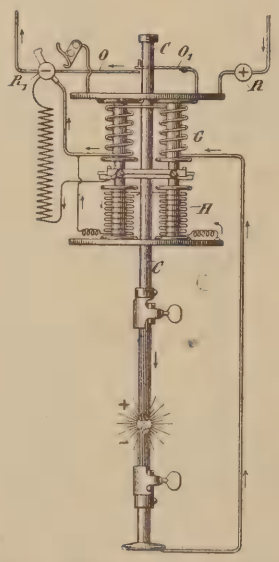


Fig. 23. — Wood. Schéma des circuits.

de fils gros au lieu de fils fins, et c'est la partie de gauche du mécanisme qui l'emporte comme poids, aidée au besoin par un ressort u_2. Au repos, ce ressort fait basculer le mécanisme de manière à lâcher l'échappement qui laisse se rapprocher les charbons. A l'amorçage, l'attraction vers o^3 fait basculer le mécanisme de manière à renclencher l'échappement, puis à séparer les charbons, et la régularisation se poursuit comme dans toutes les lampes focales en série.

Le frein de la lampe différentielle de *Wood*, représentée par les figures 19 à 29, est extrêmement simple et sensible.

Quand le levier soumis à l'action différentielle des électros G et H s'abaisse, le bras d_1 (fig. 24) vient s'arrêter sur la butée f, et le sabot d_2 du frein, pivotant autour de son axe d, lâche le charbon C, mais lentement, à cause de son frottement sur c et les lames de contact a_1, et sans modifier sensiblement la charge du levier E, grâce au très faible appui de d_1 sur f. Les lames a_1 contribuent en outre à assurer le guidage du charbon. Le fait que ce frein ne saisit ni ne lâche brusquement son charbon, et que son fonctionnement ne modifie que très peu la charge de E, assure au réglage une grande stabilité.

On voit en figures 19 et 29 comment les électros opposés : G en série et H en dérivation, attaquent le levier E, pivoté sur les pointes cc, avec dashpot J et ressort de réglage I.

Quand le charbon supérieur est épuisé sa tête vient (fig. 23 et 26) on appuyant o' sur o, couper par R R', la lampe du circuit.

Les figures 20 et 21 représentent l'application du système à une lampe double ou à deux charbons. Dans ces lampes, le premier frein D est, comme précédemment (fig. 27 et 28) directement actionné par le levier E, tandis que le second, D_2, l'est indirectement par un levier de renvoi K, pivoté sur E en *gg*, et sans cesse relevé dans la position figure 27 par un resssort *s*. Quand le premier charbon C est épuisé, sa tête

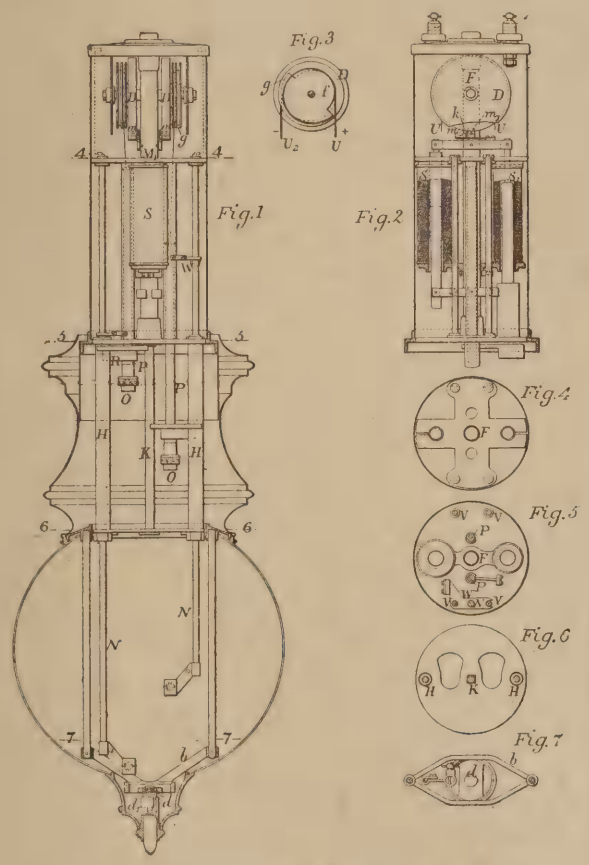


Fig. 30. — (1 à 7) lampe double Brockie (1892). Elévations. Coupes (4 4), (5.5) (6.6) et (7.7).

C^3, vient, en appuyant sur N (fig. 28) faire basculer K de la position figure 27 à la position figure 28, où il s'appuie sur E. En figure 27, le frein correspondant D_2 est trop élevé pour que son bras puisse venir heurter f_3, quels que soient les mouvements du levier E pendant la marche du premier charbon, de sorte qu'il maintient simplement l'immobilité du charbon C^2 pendant toute la durée de ce fonctionnement; en figure 28, au contraire, ce frein est abaissé en position de marche normale. La flexibilité de la tige N' N garantit d'ailleurs la lampe de tout accident du fait d'une poussée intempestive sur la tête C^3.

En outre, l'appui de C^3 sur N transporte la charge de ce charbon de *w*, point d'attache de la bielle *b* (fig. 29) en *w'*, plus éloigné que *w* du pivot de E, de manière, qu'au départ du second arc, le moment de ce levier par rapport à son ressort de réglage I soit le même qu'au départ du premier, alors que le charbon C, intact et plus lourd, chargeait, ainsi que C^2, le levier E en *w*. La seconde paire de charbons brûlera donc exactement dans les mêmes conditions que la première.

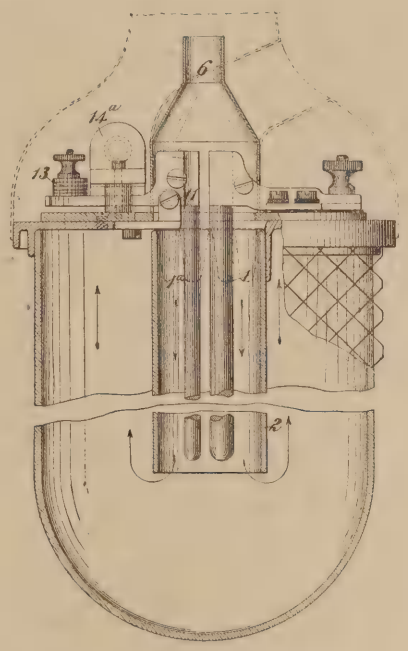


Fig. 31. — Lampe Sayers (1891).

La lampe double de *Brockie* réprésentée par les figures 30 (1 à 7), se recommande par quelques détails de construction ingénieux et pratiques.

Chacun des freins D porte des cames isolées *f* et *g* (fig. 3), auxquelles sont attachés respectivement, par u_2 et *u*, les charbons négatifs N N et positifs P P. Ces cames, reliées respectivement aux bornes positive et négative de la lampe, sont profilées en spirale, de manière à imprimer à leurs charbons respectifs des mouvements opposés, que le bras de levier des charbons positifs augmente, à mesure qu'ils descendent, plus vite que celui des charbons négatifs à mesure qu'ils

montent, et qu'ainsi l'équilibre des charbons P P et N N autour de l'axe F ne soit point troublé malgré la consommation plus rapide des charbons positifs. Le frein M_1 agit sur ses roues D D par deux petits sabots de caoutchouc *m m*, sous l'influence direct des électros dérivés S_1 et en série S. A la fin des charbons, la butée du taquet m_1 sur *k* arrête la lampe et empêche tout accident.

Les charbons négatifs N N, qui traversent les tubes H H sont guidés en *v v* par des croisillons W W (fig. 5), tandis que les charbons positifs P P sont guidés sur H H et K par R R.

Le globe de la lampe est maintenue par le

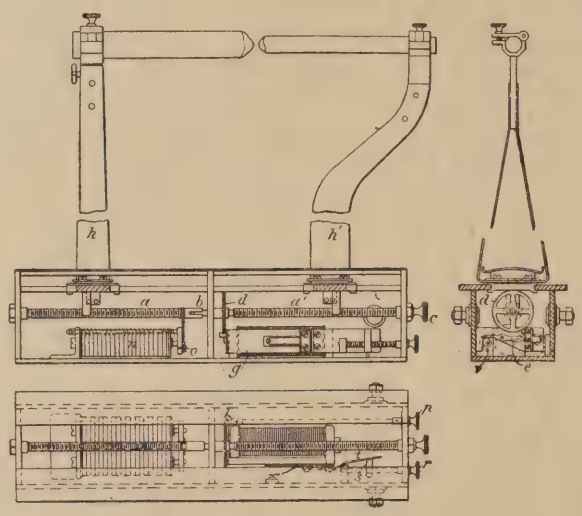


Fig. 32 à 34. — Projecteur Crompton et Pochin (1892).

serrage d'un joint à bayonnette *d* d_2 sur le croisillon *b*.

La lampe de *M. Sayers* a (fig. 31) ses deux charbons parallèles : le positif 1 est fixe, et le négatif, 1_a s'en écarte, pour l'amorçage de l'arc, par l'attraction du solénoïde en série 14^a, qui soulève son armature malgré le poids 13. Une fois amorcé, l'arc se maintient au bout des charbons sans remonter, repoussé par un courant d'air insufflé par le tube 6 dans la cheminée de verre 2. Avec des charbons de 9 et 11 millimètres de diamètre, écartés de 5 millimètres, et un courant d'air modéré, M. Sayers aurait, paraît-il, obtenu d'excellents résultats.

Le courant d'air doit être très régulier et l'on peut parer à tout danger au moyen d'un plomb fondu par la chaleur de l'arc dès qu'il se rapproche trop du porte-charbons.

Avec les courants alternatifs, les charbons sont, à partir d'une centaine de volts, au nombre de trois, dont celui du milieu aussi gros que les deux autres et d'une section ovale. Il se produit ainsi, entre les deux faces du charbon central et les charbons latéraux deux arcs en série, le charbon central n'étant relié au circuit que par ces arcs. On détermine le courant d'air soit par une ventilation, soit en renversant le sens de l'arc, par une cheminée que M. Sayers espère ne devoir pas être trop encombrante.

Les porte-charbons *h h'* du projecteur *Crompton et Pochin*, représenté par les figures 32 à 34 sont actionnés par deux vis à filets contraire *a a'*, réunis par un tourne-vis *b*. L'amorçage se fait par un électro *n*, qui écarte *h* de *h'* en reculant *a*

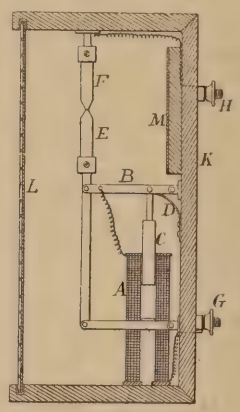


Fig. 35. — Signal Siemens frères (1892).

vers la gauche, mais sans la séparer de *a'*; puis l'arc se règle par le rochet *d*, que commande le cliquet trembleur *e* d'un électro-aimant *g*, en dérivation sur l'arc. Il suffit de déclencher *e* par *p* et *r* pour pouvoir régler l'arc à la main, et la vis *s* permet de régler la longueur normale de l'arc en modifiant la tension du ressort trembleur *t*.

Le signal électrique *Siemens*, représenté par la figure 35, se compose de deux charbons F et E, reliés aux bornes H et G d'un circuit, et dont l'un est commandé par un électro en dérivation A. Quand on ferme le circuit, A, attirant C, fait jaillir l'arc qui rompt aussitôt le circuit; puis le ressort D, rappelant B, referme ce circuit, et ainsi de suite, de manière à faire jaillir une série d'éclats plus ou moins rapprochés suivant les puissances de A et de D.

GUSTAVE RICHARD.

LES EXPÉRIENCES DE LORD ARMSTRONG

Pendant que M. Elihu Thomson publiait les résultats de ses recherches sur les courants alternatifs de haute fréquence et de potentiel très élevé, et que M. Tesla faisait connaître en France ses expériences si suggestives et si intéressantes sur le même sujet, lord Armstrong s'occupait des phénomènes produits par les décharges induites de moyenne fréquence, mais d'intensité relativement grande. Moins brillantes et moins faciles à répéter en public que celles de M. Tesla, les expériences de lord Armstrong n'auront sans doute pas le retentissement des premières. Elles ne paraissent pas d'ailleurs destinées comme celles-ci à révolutionner notre mode actuel d'éclairage électrique, et par cette raison leur importance pratique est moindre. Mais par cela même que les résultats auxquels elles conduisent sont, comme nous le verrons, encore incomplètement expliqués, elles peuvent avoir une influence heureuse sur le développement des idées se rapportant à la nature de l'électricité et aux relations mystérieuses entre la matière et l'électricité.

Pour produire les décharges qu'il étudie, lord Armstrong a recours à la bobine des Ruhmkorff. Aussi a-t-il recherché d'abord les meilleures conditions de fonctionnement de cet instrument pour le but qu'il se proposait. Il a remarqué que si les bobines de très grandes dimensions donnent des étincelles d'une longueur exceptionnelle et, par conséquent, une très forte différence de potentiel entre les bornes, l'intensité de leurs décharges est très petite et qu'en somme l'énergie de ces décharges est relativement beaucoup plus faible qu'avec les bobines de petites dimensions. En d'autres termes, pour obtenir le maximum d'énergie dans les décharges avec un poids donné de fil secondaire on doit utiliser ce fil à la construction de plusieurs bobines de dimensions moyennes et non l'employer à la construction d'une seule bobine de très grandes dimensions. D'autre part, les grandes bobines exigent l'emploi de l'interrupteur à alcool, et ce genre d'interrupteur ne peut donner des courants de fréquence suffisamment élevée. Ces résultats acquis, lord Armstrong fit construire six bobines identiques de dimensions moyennes et dont il est facile de se faire une idée, sachant que chacune d'elles peut donner des étincelles de 26 centimètres de longueur.

La figure 1 représente l'ensemble de l'appareil. Il se compose d'une table d'ébonite au-dessous de laquelle sont disposées verticalement les six bobines d'induction. Le circuit primaire de chacune d'elles est relié à une batterie de sept accumulateurs réunis en tension. Sur la table se trouvent deux interrupteurs des courants primaires, l'un mécanique, l'autre automatique. Ce dernier, représenté à droite de la figure et à l'arrière-plan, est formé de six électro-aimants en fer à cheval placés devant des arma-

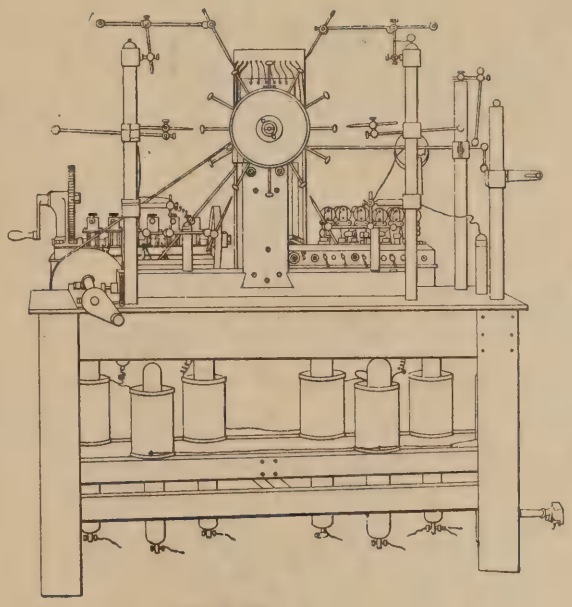


Fig. 1

tures à ressort. Le fonctionnement de cet interrupteur multiple est identique à celui des interrupteurs à marteau ordinaires. Toutefois, il présente sur ces derniers l'avantage de permettre l'emploi d'électro-aimants puissants pouvant attirer des armatures fixées à des ressorts courts et d'acier fortement trempé qui, par suite, oscillent très rapidement et produisent des courants de haute fréquence. A gauche de la table est disposé le second interrupteur. Avec celui-ci, les interruptions sont produites simultanément dans les six circuits par des roues munies de cames et animées d'un mouvement de rotation rapide. Par l'emploi de cet interrupteur les décharges sont plus régulièrement espacées que par l'emploi de l'interrupteur auto-

matique et leur nombre par seconde peut être facilement mesuré à l'aide d'un compteur de tours. Mais l'énergie des décharges est plus grande quand on fait usage de l'interrupteur automatique; sans doute parce que les ruptures des circuits ne se produisent avec cet appareil

Fig. 2

que lorsque les noyaux de fer doux des électro-aimants et des bobines sont au maximum de magnétisation.

Les circuits secondaires des six bobines sont réunis en quantité et les fils collecteurs, enfermés dans de très gros tubes de verre, amènent

Fig. 3

les courants à une sorte d'excitateur universel disposé au-dessus de la table et représenté en premier plan sur la figure. Entre les deux supports verticaux de cet excitateur on voit un disque débonite armé de plusieurs tiges conductrices et pouvant être animé d'un mouvement rapide de rotation Ce disque peut recevoir une série de tubes de Geissler symétriquement disposés et permet d'effectuer un grand nombre d'expériences fort brillantes. Il est inutile dans celles que nous décrirons.

Après quelques essais préliminaires, lord Armstrong fut amené à rechercher s'il y a trans-

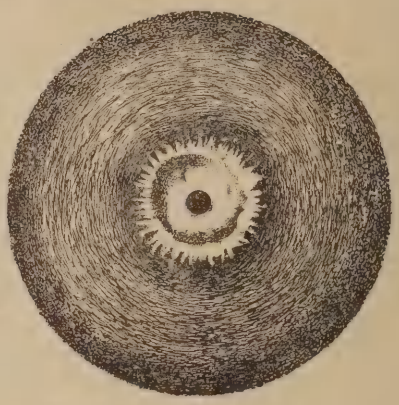


Fig. 4

port de la matière des pôles par les décharges. Dans ce but, il dispose horizontalement au-dessous des pôles une lame de mica saupoudrée de craie en poudre. Aucun déplacement ne se produit dans le sens des décharges, que celles-ci aient lieu sous forme d'étincelles ou sous forme

Fig. 5

d'arc suivant l'écartement plus ou moins grand des pôles. Il ne paraît donc pas y avoir transport de matière d'un pôle à l'autre, résultat auquel M. J. Browbridge était déjà parvenu par une méthode spectroscopique (1).

(1) *Philosophical Magazine* t. XXX p. 480 (décembre 1890). — *La Lumière Electrique* t. XXXIX p. 489.

Mais si la poudre n'est pas déplacée longitudinalement, elle est repoussée transversalement et se rassemble en bourrelets formant des courbes concentriques dont la concavité est tournée vers le trajet de la décharge et qui vont d'un conducteur à l'autre. La régularité de ces

Fig. 6

courbes dépend de la forme des décharges : elle est meilleure avec les étincelles qu'avec l'arc ; de plus, il est préférable de les former peu à peu par une succession continue de petites décharges que par une décharge unique et très forte. Elle dépend également du degré de finesse de la

Fig. 7

poudre ; sous ce rapport, lord Armstrong s'est très bien trouvé de l'emploi d'une poudre noire bien tamisée obtenue par le mélange de magnésie calcinée et de noir de fumée purifié ; cette poudre était étendue sur un carton blanc. La formation de ces courbes dans les conditions les plus variées constitue la partie la plus originale des expériences. Les figures 2 à 12 reproduisent, d'après les photographies obtenues par lord Armstrong et au 1/3 environ de leur grandeur naturelle, les formes les plus intéressantes.

La figure 2 est produite par des décharges horizontales s'effectuant parallèlement au car-

Fig. 8

ton. Les figures 3, 4, 5, 6, 7 sont obtenues par des décharges verticales passant à travers un trou de la feuille de carton toujours maintenue horizontalement, mais dans diverses positions par rapport aux pôles. La figure 3 est relative au cas où le carton est placé à égale distance des deux pôles ; la figure 4 au cas où le carton

Fig. 9

est à une très petite distance en avant du pôle positif ; la suivante à celui où le carton est à faible distance du pôle négatif ; en plaçant le carton immédiatement au-delà de la pointe positive on obtient la figure 6 ; en le plaçant à près de quatre mètres au-delà de cette pointe, on obtient la figure 7.

La figure 8 montre les courbes obtenues en fixant à l'extrémité de la pointe positive un

double fil symétriquement recourbé. La figure 9 est produite de la même manière, mais en prenant une lame de verre à la place de la feuille de carton; les déplacements de la poudre s'effectuant plus facilement sur le verre, une seule bobine était alors employée pour produire les décharges.

Les mêmes figures peuvent être obtenues par les décharges produites en intercalant des bouteilles de Leyde sur le circuit secondaire des bobines. Comme elles ne diffèrent des précédentes que par une moins grande netteté des courbes, nous avons cru inutile de les reproduire.

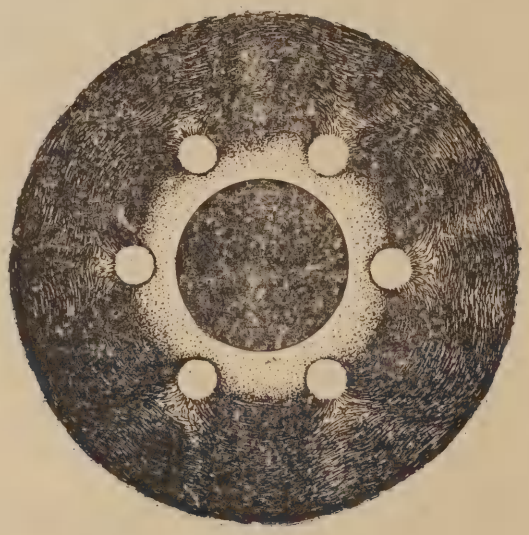


Fig. 10

Fig. 11.

Toutefois les dernières photographies reproduites (fig. 10, 11 et 12) sont relatives aux décharges des condensateurs, aucune expérience n'ayant été faite dans les mêmes conditions avec les bobines seules.

Dans la figure 10, on voit l'effet de tubes de verre implantés verticalement sur le carton et disposés symétriquement par rapport à l'axe des points où jaillissent les étincelles; la figure 11 représente les courbes obtenues en plaçant deux verres à vin renversés sur la feuille de carton; enfin la dernière se rapporte à une expérience où l'on avait disposé six hémisphères de bois autour du trou par lequel passent les décharges.

Comment expliquer le rassemblement de la poussière en bourrelets que mettent en évidence toutes les figures que nous venons de décrire? Il est naturel de l'attribuer aux vibrations de l'air produites par les décharges et cette explication est confirmée par l'examen de la figure 11, dans laquelle on ne constate aucun bourrelet aux endroits de la feuille de carton mis à l'abri des vibrations de l'air par les verres renversés. Les figures 10 et 12, sans confirmer expressément cette manière de voir, ne l'infirment nullement, car les courbes qui se produisent derrière les tubes et les hémisphères peuvent parfaitement être dues à des vibrations qui se propagent en contournant des obstacles, et même les perturbations régulières que l'on constate dans la forme de ces courbes peuvent parfaitement être attribuées aux interférences des vibrations. Quant à la forme circulaire des courbes des figures 3, 4 et 5, elle constitue une nouvelle preuve en faveur de cette explication, car il est évident que, par raison de symétrie, l'état vibratoire de l'air doit être le même sur des surfaces de révolution autour de l'axe commun des pointes entre lesquelles jaillissent les décharges.

Mais si naturelle qu'elle soit, cette interprétation des phénomènes n'est pas rigoureusement exacte. Pour s'en convaincre, il suffit de répéter l'expérience suivante. On frappe une série de petits coups sur une membrane fermant la partie supérieure d'une boîte cylindrique au fond de

laquelle est soudé un tube de petit diamètre débouchant près de la surface d'une feuille de carton saupoudrée de poussière. On voit la poussière disparaître peu à peu de la surface limitée par une circonférence ayant pour centre la projection de l'axe du tube sur le carton, mais on ne constate aucune trace de la formation des bourrelets concentriques.

Faut-il donc admettre que les particules de poussière prennent, sous l'action de la décharge, une sorte de polarité analogue à la polarité magnétique que prennent les grains de limaille de fer dans un champ magnétique, et que la formation des bourrelets est due aux

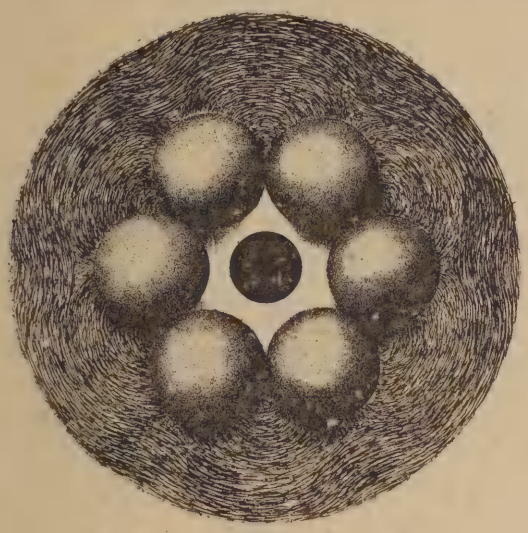


Fig. 12.

attractions qui se manifesteraient alors entre les extrémités des particules possédant des polarisations contraires? Lord Armstrong n'ose l'affirmer, mais la ressemblance frappante des figures qu'il obtient avec les spectres magnétiques constitue une forte présomption en faveur de cette hypothèse.

Une autre particularité des figures mérite de fixer l'attention. Les figures 2, 6, 7, 8 et 9 montrent que les bourrelets voisins des pôles sont dirigés normalement aux conducteurs et qu'ils sont plus longs et plus saillants dans le voisinage du pôle positif que dans celui du pôle négatif. La perpendicularité des directions des bourrelets et des conducteurs de décharge est particulièrement manifeste dans les figures 8 et 9 qui se rapportent au cas où la pointe positive est munie d'un double fil symétriquement recourbé; l'effet puissant du pôle positif est montré par la figure 1 et principalement par la figure 6 où l'on voit de longues et nombreuses traînées de poussière ayant pour origine l'axe du conducteur positif.

Lord Armstrong voit dans l'existence de lignes émanant des fils conducteurs la preuve d'une perturbation moléculaire causée par les décharges dans la machine conductrice. D'après une hypothèse déjà ancienne et remise en faveur par l'étude de la théorie mécanique de la chaleur et de la théorie cinétique des gaz, les corps seraient formés de molécules en mouvement. Dans les conditions ordinaires, la cohésion restreint les mouvements des molécules des corps solides dans des limites très étroites. D'après lord Armstrong l'amplitude de ces mouvements deviendrait plus grande sous l'influence des décharges et quand l'amplitude serait suffisamment grande pour que la cohésion, qui décroît rapidement avec la distance, soit sensiblement nulle, les molécules matérielles se trouveraient projetées. Ces projections de matière, combinées aux vibrations de l'air qui en sont la conséquence, expliqueraient la formation des bourrelets de poussière perpendiculaires aux conducteurs.

Dans l'état actuel de nos connaissances, l'hypothèse de lord Armstrong paraît très acceptable. Elle présente même l'avantage d'expliquer également la diminution du diamètre des conducteurs entre lesquels s'effectuent les décharges, diminution que l'on ne peut toujours attribuer à la volatilisation de la matière, car dans certains cas, dont nous allons trouver ci-dessous un exemple, la température des conducteurs ne paraît pas suffisante pour produire une volatilisation. Ajoutons que cette dispersion latérale de la matière par les décharges s'accorderait parfaitement bien avec les phénomènes observés dans les expériences dites de la torpille électrique et du portrait de Franklin.

Les expériences précédentes mettent en évidence une différence d'action du pôle positif et du pôle négatif. Si on compare les quantités de chaleur dégagées aux deux pôles, on trouve encore une différence : le conducteur formant le pôle négatif s'échauffe plus que celui qui forme le pôle positif. Quand la décharge s'effectue

sous forme d'étincelles cette différence d'échauffement est peu sensible. Mais si l'on rapproche suffisamment les pôles pour donner naissance à un arc, elle est très bien marquée. Ainsi en prenant pour pôles des fils de platine d'environ 1 millimètre de diamètre, le conducteur négatif fond rapidement (à raison de 7,5 c. par minute si on prend la précaution de maintenir l'écarte-

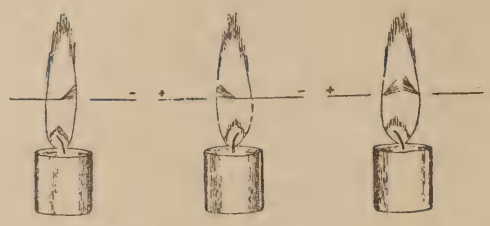


Fig. 13, 14 et 15.

ment constant), tandis que le conducteur positif ne s'échauffe pas sensiblement.

L'expérience peut d'ailleurs être rendue plus frappante en prenant pour pôle positif de l'eau acidulée ou un morceau de glace rendue conductrice par l'incorporation de sel marin et pour pôle négatif un fil de platine; celui-ci est fondu sans que l'eau ou la glace se soient échauffés. Si on renverse le sens du courant de décharge, presque immédiatement l'eau est portée à

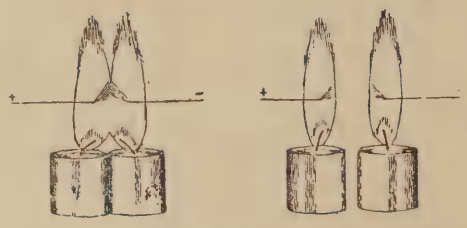


Fig. 16 et 17.

l'ébullition ou la glace fondue. Remarquons que les phénomènes calorifiques mis en évidence par ces expériences sont inverses de ceux qui se produisent dans les lampes à arc, car dans celles-ci le développement de chaleur est plus grand sur le charbon positif que sur le charbon négatif.

Lord Armstrong a tenté d'expliquer les résultats de ses expériences de la manière suivante. Chaque décharge serait constituée par une série d'oscillations très rapides de l'électricité entre les deux pôles; mais toutes les oscillations partant du pôle négatif ne pourraient parvenir au pôle positif et ce serait en quelque sorte la différence entre le nombre des oscillations partant du pôle positif et celui des oscillations qui y parviennent que mesurerait l'intensité du courant de décharge. Dans ces conditions, le pôle négatif se trouverait soumis plus souvent que le pôle positif à un conflit des mouvements électriques, et les molécules du pôle négatif prendraient une agitation tumultueuse se traduisant par un fort dégagement de chaleur. Quant à la différence que l'on constate dans l'intensité des phénomènes calorifiques des étincelles et de l'arc, elle proviendrait de deux causes. D'abord, quand la décharge a lieu sous forme d'étincelles, il y a une quantité d'énergie transportée d'un pôle à l'autre moindre que

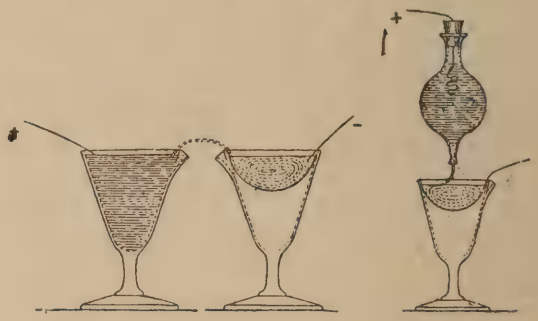


Fig. 18 et 19.

quand il se forme un arc, bien que dans le premier cas la chute de potentiel entre les pôles soit beaucoup plus grande que dans le second. Ensuite, la décharge par étincelles dépense, sous forme d'ondes sonores, une certaine quantité d'énergie qu'il est dès lors impossible de retrouver sous forme de chaleur.

Nous laissons de côté ces explications, auxquelles manque une base solide, et nous passons à la description succincte de quelques expériences relatives à des décharges effectuées dans une flamme. Les figures 13 à 17 montrent les apparences observées en prenant des flammes de bougies de paraffine. Dans toutes ces figures on voit que l'arc est nettement limité par le contour de la flamme et qu'on n'observe rien au-delà. Une autre particularité curieuse est que le fil négatif qui s'échauffe rapidement jusqu'au point de fusion comme à l'ordinaire, quand il est en dehors de la flamme comme dans la fi-

gure 15, reste suffisamment froid pour se recouvrir de noir de fumée quand il est plongé dans la flamme.

Terminons par la description d'une autre expérience curieuse. Prenons deux verres (fig. 18); remplissons l'un d'eau parfaitement pure et plongeons-y le pôle positif; dans l'autre plaçons une capsule d'étain hémisphérique remplie d'eau distillée et contenant un long fil de coton dont une extrémité plonge dans le premier verre. Dès qu'on met le second verre en communication avec le pôle négatif des bobines, on voit le fil de coton s'agiter par saccades et passer tout entier dans le verre où plonge le pôle positif. Chose plus curieuse encore, le niveau de l'eau s'est abaissé dans ce dernier verre, bien que le coton mouillé en ait certainement amené une certaine quantité et c'est au fond du verre contenant la capsule que l'on retrouve l'eau qui manque. L'emploi de la capsule n'a d'ailleurs d'autre but que de montrer nettement ce passage de l'eau en sens inverse du mouvement du fil; la capsule étant pleine dès le commencement de l'expérience, l'eau qui y est amenée tombe au fond du verre dans lequel elle est posée.

La figure 19 indique une variante dans la disposition de l'expérience. Le pôle positif est plongé dans une ampoule pleine d'eau, percée à sa partie inférieure d'un orifice juste assez grand pour laisser passer le fil de coton enroulé dans la capsule placée au-dessous. Quand on fait passer la décharge, le fil monte dans l'ampoule.

Un grand nombre d'autres expériences ont été faites par lord Armstrong, à l'aide de la puissante machine d'induction qu'il a à sa disposition. Nous n'en parlerons pas, celles que nous avons décrites pouvant être regardées comme les types les plus remarquables.

J. Blondin.

CHRONIQUE ET REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

Compteurs pendulaires Edmondson et Oulton (1892).

Ces compteurs se composent essentiellement de deux pendules naturellement synchrones, mais dont l'un a ses oscillations influencées par le courant à mesurer, de manière que la totalisation de ces influences donne l'énergie du courant en question. Ces pendules peuvent être des pendules ordinaires ou des balanciers de montre.

Dans le premier cas (fig. 1) les pendules 1 et 7 sont suspendus par des lames à une barre 28, également attachée par des lames à une barre rigide fixe 30. Les petits déplacements élas-

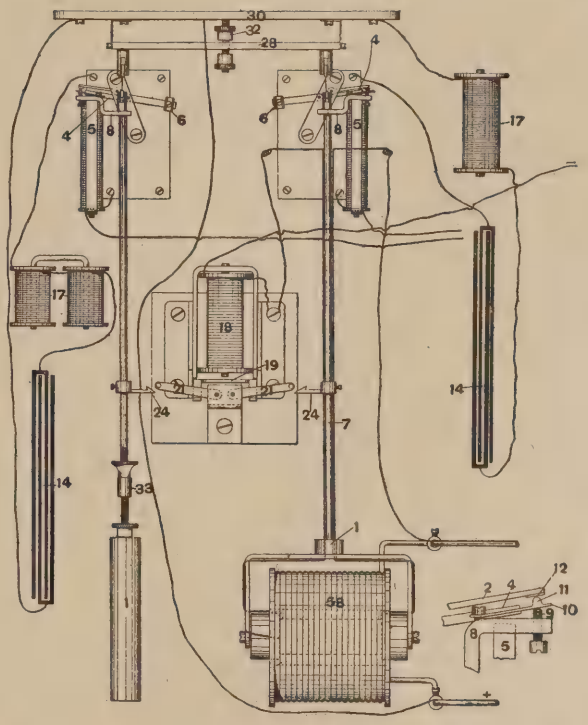


Fig. 1 et 2.

tiques de la barre 28, communs aux deux pendules, aident à conserver leur synchronisme naturel ; mais, pour établir ce synchronisme au moyen du poids régleur 33, il faut d'abord immobiliser la barre 28 en la rendant solidaire de la barre 30 par la vis 32.

Le mouvement libre des pendules est entretenu par des échappements de Becket commandés électriquement.

Cet échappement, pour chacun des pendules, consiste (fig. 1 et 2) en une équerre 8, entraînée par le pendule 1, et en un levier lourd 2, qui, au repos, appuie sur l'armature 4, maintenue écartée de son électro-aimant 5 par son contrepoids 6. Quand le pendule arrive (fig. 2) à la fin

de son oscillation vers la gauche, la vis de réglage 9 soulève le levier 2 par le contact 10, ce qui fait que l'armature 4 est en même temps attirée. Au retour, le levier 2 suit le pendule, en le poussant par 8, jusqu'à ce que le mouvement même du pendule rompe le contact en 10, et que le contrepoids 6 relève de nouveau le levier 2. On voit qu'à chaque retour le levier 2 accompagne et pousse le pendule sur un arc qui surpasse celui dont il l'a remonté de la quantité

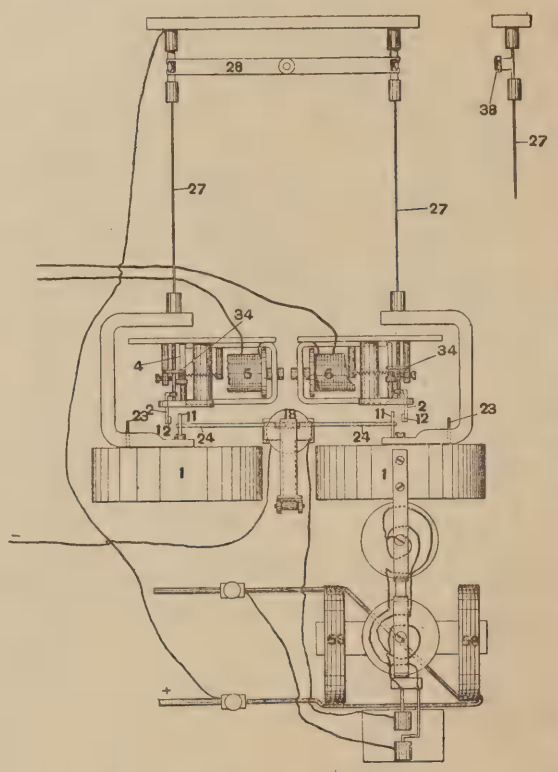


Fig. 3 et 4.

même dont le levier 2 a été précédemment soulevé par l'armature 4; et cet excès suffit pour maintenir le mouvement naturel du pendule.

Afin de, sinon éviter complètement, du moins réduire de beaucoup l'étincelle de rupture en 11-12 (fig. 2), on interpose dans le circuit de ces contacts un condensateur 14 et une résistance 17.

Il faut, en outre, arrêter automatiquement les pendules dès que le courant cesse de passer en 58, puis les remettre en marche dès qu'il y repasse.

A cet effet, on branche sur le circuit un électro-aimant 18 qui, dès que le courant cesse, lâche son armature 19, et abaisse ses leviers 21 de manière qu'ils viennent accrocher en 24-24 les deux pendules : dès, au contraire, que le courant repasse, l'électro 18 rappelle son armature et relâche les pendules, qui se remettent à osciller.

Les oscillations des pendules sont ensuite différentiées par un totalisateur quelconque, dont le train différentiel est actionné par deux électros excités respectivement par chacun des pendules.

L'appareil à ressorts ou balanciers fonctionne d'une façon tout à fait analogue au précédent, mais avec d'ingénieuses modifications de détail adaptées à la forme différente des pendules.

Le mouvement des balanciers 1 1 est (fig. 3 et 4) entretenu par des bras 2 2. Quand le balancier arrive au bout de sa course d'aller, son taquet 11 repousse le bras 2, malgré son ressort 34, par son contact 12, dont la fermeture fait attirer par l'électro 5 l'armature 4, laquelle soulève le bras 2 plus que ne le repousse le taquet 11. Au retour, après la rupture du contact 12, le ressort 34, rappelant le bras 2, lui fait ainsi donner au balancier une impulsion plus forte que celle qu'il en a reçue, et qui suffit à en entretenir le mouvement.

L'arrêt des balanciers lors de la cessation du courant s'opère (fig. 4) par l'accrochage des taquets 23 au moyen des griffes 24, dès que l'électro 18, cessant d'être excité, lâche son armature.

Quant au synchronisme des balanciers, il se maintient par la conjugaison de leurs ressorts de torsion 27 27 au moyen des ressorts beaucoup plus raides 29 29 et de la barre 28 38.

G. R.

Sur la détermination des défauts d'isolement des canalisations électriques en service, par M. O. Frœlich (1).

Défauts multiples dont l'emplacement est connu.

Méthode 7. — La détermination de plusieurs défauts existant simultanément n'a pas été résolue jusqu'ici d'une manière générale; elle ne peut d'ailleurs être effectuée si l'emplacement et la résistance des divers défauts sont indéterminés; elle est possible, au contraire, lorsqu'on connaît les endroits où des défauts peuvent se

(1) *La Lumière Electrique*, t. XLVII, p. 475.

produire. On peut ainsi suivre journellement l'isolement des conducteurs principaux dans une station centrale, et remédier aux défauts naissants avant qu'ils ne se soient développés suffisamment pour amener des accidents.

On a trouvé que pour atteindre ce but il suffit de connaître l'isolement total du réseau et de faire des mesures au pont entre les divers conducteurs du système de distribution, comme le montre la figure 10.

Pour trouver la formule donnant le rapport

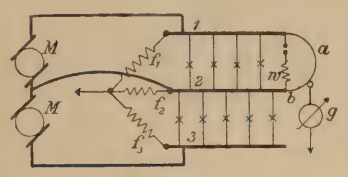


Fig. 10

des bras a et b du pont en fonction des résistances f ou des conductibilités k des défauts, nous avons dû développer la théorie du montage représenté par la figure 11, dont le pont de Wheatstone est un cas particulier. Nous ne

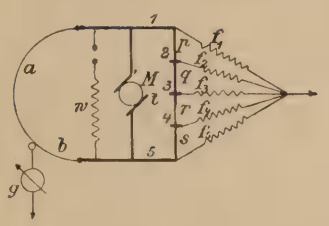


Fig. 11.

donnons ici que les résultats pour les systèmes à deux, trois et cinq fils.

Système à cinq fils. — p, q, r, s, t désignent les résistances des partles du circuit indiquées dans la figure 11; f_1, f_2, f_3, f_4, f_5 sont les résistances des défauts; on a en outre

$$k_1 = \frac{1}{f_1}, \quad k_2 = \frac{1}{f_2}, \quad \ldots \; K = \Sigma k = \Sigma \frac{1}{f}.$$

Soit enfin m_{51} la valeur de $\frac{a}{b}$, lorsque, comme dans la figure 11, le fil du rhéocorde est relié à 5 et à 1; m_{12} la valeur du même rapport lorsque la communication a lieu avec 1 et 2, etc.

Avec les valeurs observées de m_{51}, m_{12}, m_{23} etc., nous formons le système suivant :

$$\left.\begin{aligned} \mu_{51} &= \frac{1 - m_{51}}{1 + m_{51}} \\ \mu_{12} &= \frac{1 - m_{12}}{1 + m_{12}} \\ \mu_{23} &= \frac{1 - m_{23}}{1 + m_{23}} \\ &\text{etc.} \end{aligned}\right\} \qquad (7\ a)$$

Les cinq valeurs de μ sont alors soumises à l'équation de condition :

$$\begin{aligned} 0 = \mu_{51}\, t\,(p + q + r + s) + \mu_{12}\, p\,(q + r + s + t) \\ + \mu_{23}\, q\,(r + s + t + p) + \mu_{34}\, r\,(s + t + p + q) \\ + \mu_{45}\, s\,(t + p + q + r) \end{aligned} \qquad (7\ b)$$

Si l'on calcule k_1, k_2, etc., au moyen des μ observés et de p, q, etc., on obtient, en supposant que les résistances p, q, etc., soient faibles par rapport aux défauts f_1, f_2, etc., les formules suivantes :

$$\left.\begin{aligned} \frac{k_1}{K} &= \frac{t + p + \mu_{51}(p + q + r + s) - \mu_{12}(q + r + s + t)}{2\,(p + q + r + s + t)} \\ \frac{k_2}{K} &= \frac{p + q + \mu_{12}(q + r + s + t) - \mu_{23}(r + s + t + p)}{2\,(p + q + r + s + t)} \\ &\text{etc.} \end{aligned}\right\} \qquad (7\ c)$$

En réalité on peut admettre que la résistance l entre deux conducteurs consécutifs est partout la même, puisque, lorsque les lampes sont inégalement réparties, on opère la compensation à l'aide de résistances, d'accumulateurs ou de machines de compensation. Nous posons donc $p = q = r = s = l$ et $l = m$, résistance de la machine, et nous obtenons :

$$\left.\begin{aligned} \frac{k_1}{K} &= \frac{l + m + 4\,l\,\mu_{51} - (3\,l + m)\,\mu_{12}}{2\,(4\,l + m)} \\ \frac{k_2}{K} &= \frac{2\,l + (3\,l + m)\,\mu_{12} - (3\,l + m)\,\mu_{23}}{2\,(4\,l + m)} \\ &\text{etc.} \end{aligned}\right\} \qquad (7\ d)$$

m a toujours les mêmes valeurs, et la résistance l peut être calculée par le courant principal et la différence de potentiel entre deux fils; connaissant l'isolement total K, et les valeurs de m résultant des mesures au pont, on peut donc ainsi calculer les différentes conductibilités k des défauts, ou leurs réciproques, les résistances f des défauts.

Système à trois fils. — En appelant encore t la résistance des machines, p et q celles des lam-

pes, les formules correspondant aux précédentes sont :

$$\left.\begin{aligned}\frac{k_1}{K} &= \frac{t+p+\mu_{31}(p+q)-\mu_{12}(q+t)}{2(p+q+t)}\\ \frac{k_2}{K} &= \frac{p+q+\mu_{12}(q+t)-\mu_{23}(t+p)}{2(p+q+t)}\\ \frac{k_3}{K} &= \frac{q+t+\mu_{23}(t+p)-\mu_{31}(p+q)}{2(p+q+t)}\end{aligned}\right\} \quad (7e)$$

Pour $t=m$ et $p=q=l$, il vient :

$$\left.\begin{aligned}\frac{k_1}{K} &= \frac{l+m+2l\mu_{31}-(l+m)\mu_{12}}{2(2l+m)}\\ \frac{k_2}{K} &= \frac{2l+(l+m)\mu_{12}-(l+m)\mu_{23}}{2(2l+m)}\\ \frac{k_3}{K} &= \frac{l+m\ (l+m)\ \mu_{23}-2l\mu_{31}}{2(2l+m)}\end{aligned}\right\} \quad (7f)$$

Système à deux fils. — Dans ce système on ne peut faire qu'une mesure au pont; en reliant a au conducteur 1, b au conducteur 2, on a immédiatement

$$\frac{k_1}{K} = \frac{b}{a+b} \quad \text{et} \quad \frac{k_2}{K} = \frac{a}{a+b}. \quad (7g)$$

Quand on fait les mesures pendant le service de jour, on peut négliger la résistance m des machines devant celle des lampes, et l'on a les formules plus simples :

Système à cinq fils.

$$\left.\begin{aligned}\frac{k_1}{K} &= \frac{1}{8}(1+4\mu_{51}-3\mu_{12})\\ \frac{k_2}{K} &= \frac{1}{8}(2+3\mu_{12}-3\mu_{23})\\ \frac{k_3}{K} &= \frac{1}{8}(2+3\mu_{23}-3\mu_{34})\\ \frac{k_4}{K} &= \frac{1}{8}(2+3\mu_{34}-\mu_{45})\\ \frac{k_5}{K} &= \frac{1}{8}(1+3\mu_{45}-\mu_{51})\end{aligned}\right\} \quad (7h)$$

Système à trois fils.

$$\left.\begin{aligned}\frac{k_1}{K} &= \frac{1}{4}(1+2\mu_{31}-\mu_{12})\\ \frac{k_2}{K} &= \frac{1}{4}(2+\mu_{12}-\mu_{23})\\ \frac{k_3}{K} &= \frac{1}{4}(1+\mu_{23}-2\mu_{31})\end{aligned}\right\} \quad (7i)$$

Localisation d'un gros défaut dans un réseau de distribution.

Méthode 8 *a.* — Quand il se produit sur un réseau un gros défaut devant lequel tous les autres disparaissent, on détermine tout d'abord le conducteur principal sur lequel il est situé; cette recherche s'effectue par les méthodes 5 ou 6. Après avoir déterminé approximativement la région qui contient le défaut, on peut procéder à la localisation exacte du défaut par des *mesures sur la canalisation.*

A cet effet on installe entre deux boîtes de jonction voisines deux lignes isolées, parallèles, l_1 et l_2 (fig. 12), que l'on relie dans les boîtes avec le conducteur défectueux; dans la ligne l_1 on intercale un galvanomètre ou un téléphone

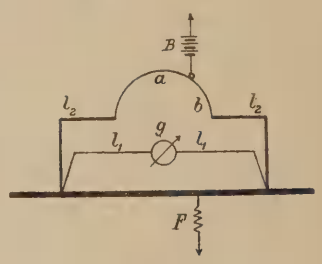


Fig. 12.

de faible résistance, dans l'autre l_2 un fil de rhéocorde; du curseur une branche B contenant des résistances ou quelques accumulateurs mène à la terre. On déplace le curseur jusqu'à ce que l'ouverture ou la fermeture de B ne fasse pas varier le courant dans le galvanomètre ou dans le téléphone.

Quand le défaut F est situé entre les deux points de contact, on en détermine l'endroit précis par la règle bien connue; mais quand le défaut se trouve à gauche de la partie essayée on n'obtient l'équilibre qu'en déplaçant le curseur dans sa position extrême a gauche; cette circonstance indique dans quelle direction il faut se déplacer avec les instruments pour refaire des essais sur d'autres tronçons du conducteur, jusqu'à ce que la partie défectueuse soit atteinte.

On peut remplacer les lignes doubles l_1 l_2 par des fils d'épreuve; dans ce cas on installe les appareils près d'une boîte de distribution et l'on intercale le tronçon de conducteur entre les deux boîtes les plus proches.

Cette mesure peut être effectuée pendant la marche et sert alors au moins à la recherche de la longueur défectueuse et de l'emplacement approximatif du défaut. Pour la localisation plus précise on coupe les branchements de la partie défectueuse.

Méthode 8 *b*. — Ces différentes méthodes de mesure ont fait l'objet d'une demande de brevet déposée par la maison Siemens en avril 1892. En septembre 1892, M. Hiecke a décrit une méthode [1] pour la détermination d'un gros défaut par des mesures faites à la station, à l'aide du montage indiqué par la figure 13.

Entre les feeders H_1 et H_2 isolés à la station on intercale une machine de faible tension ou une batterie d'accumulateurs; entre les fils P_1 et P_2 on place un rhéocorde $\alpha\beta$; entre le curseur et la terre on intercale un galvanomètre à

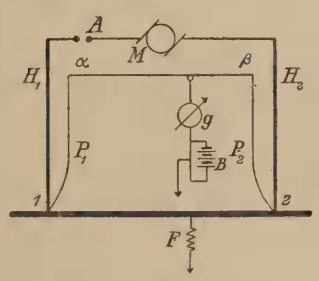


Fig. 13.

miroir avec une batterie de compensation B. On règle cette dernière pour annuler le courant dans le galvanomètre, et au moyen du curseur on cherche la position d'équilibre dans laquelle on peut fermer la clef A sans faire passer de courant dans le galvanomètre. On répète ensuite ces mesures sur les autres feeders, et l'on détermine le lieu du défaut par des considérations développées dans l'article cité.

Si l'on compare cette méthode avec la nôtre 8 *a*, on voit que les deux méthodes sont en principe les mêmes; les branches diagonales sont simplement interchangées; de plus, dans la méthode 8 *b* le courant dans le galvanomètre est compensé par une batterie, et l'emploi du téléphone n'est pas indiqué. La différence principale consiste en ce que dans la méthode Hiecke les mesures sont faites à la station et en ce que les deux feeders sont isolés à la station.

[1] *Elektrotechnische Zeitschrift.*

Si nous cherchons, en suivant cet exemple, à faire ces mesures à la station, d'après notre méthode, nous devons employer le montage figure 14. Entre les feeders on intercale le rhéocorde, entre les fils d'épreuve le galvanomètre ou le téléphone; entre le curseur et la terre se trouve une petite batterie d'accumulateurs avec clef. Quand on emploie le téléphone, la clef est remplacée par une roue de contact à manivelle.

Dispositif de mesure pour stations centrales.

Toutes ces méthodes ont été essayées pratiquement sur une petite installation à trois fils de la maison Siemens et Halske.

Comme instruments il est nécessaire ou recommandable d'employer : un rhéocorde, un pont de Wheatstone à bobines avec manette, des

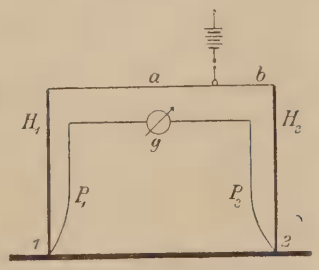


Fig. 14.

téléphones de diverses résistances, une roue de contact à manivelle, un interrupteur tournant mu électriquement, un galvanomètre à miroir facile à manier et à transporter, des voltmètres précis, mais susceptibles d'être placés près des machines, différentes résistances.

Pour les galvanomètres à miroir on a trouvé commode, outre l'emploi d'un aimant compensateur, de placer tout le système des aiguilles avec le miroir dans l'eau; on obtient ainsi un bon amortissement et le réglage est plus facile.

En dehors des mesures ci-dessus indiquées, il est bon de se servir d'un instrument précis pour mesurer le potentiel en un grand nombre de points du même conducteur principal; c'est une bonne préparation pour l'observation immédiate d'un défaut venant à se déclarer, car dans le voisinage du défaut les potentiels baissent considérablement.

Voici la liste des mesures qu'il est nécessaire

ou utile d'effectuer dans une station centrale pendant la marche :

1. Observation continue de l'isolement (méthode 3).

2. Mesure de l'isolement de l'ensemble du réseau (méthode 1, 2, 3, 4).

3. Détermination du conducteur défectueux (méthodes 5, 6).

4. Mesure des défauts des divers conducteurs (méthode 7).

5. Mesure des potentiels sur chaque conducteur aux divers régimes de débit extérieur.

6. Détermination du lieu d'un gros défaut par des mesures faites à la station (méthodes 8*b*, 8*c*).

7. Détermination du lieu d'un gros défaut sur la canalisation même (méthode 8*a*).

Je présume que les mesures dans les stations centrales prendront un développement analogue à celui des mesures des câbles sous-marins; au début on ne faisait aucune mesure, ensuite on ne mesurait que lorsqu'il se produisait des défauts graves, et finalement, lorsqu'on sût apprécier l'utilité des mesures, on s'est astreint au plus grand nombre de déterminations possible.

Plusieurs d'entre les méthodes décrites peuvent être appliquées immédiatement au courant alternatif; nous nous réservons d'y revenir. Les personnes que le sujet intéresse sont invitées par la maison Siemens et Halske à étudier ces méthodes à son usine de Berlin.

A. H.

Les divers projets d'éclairage électrique de Budapest.

Voici, d'après M. Wittmann, un résumé des projets en question :

Les systèmes entre lesquels on a le choix pour la capitale de la Hongrie sont : le système à trois fils ou cinq fils à courant continu, avec ou sans accumulateurs · la distribution avec accumulateurs en série . a distribution par transformateurs à courant continu avec et sans accumulateurs ; les systèmes à courants alternatifs avec transformateurs en série ou en parallèle ; enfin le système à courant polyphasé.

Avec le système à deux ou trois fils, les frais, au bout de quelques centaines de mètres, dépassent déjà la limite permise. Bien que le réseau électrique de Berlin, alimenté par plusieurs stations centrales, soit constitué d'après ce système, il ne saurait guère en être question pour le cas présent. La raison qu'en donne M. Wittmann est celle-ci : s'il arrive que par la suite on veuille rendre les consommateurs indépendants les uns des autres, c'est-à-dire si l'on veut produire une lumière uniforme sans compromettre la durée des lampes, il faut alors, pour les lampes les plus éloignées, un conducteur d'une telle section que les frais d'installation et de réparation absorbent tous les bénéfices.

Dans le système à trois fils, les lampes étant, comme on le sait, divisées en deux groupes, on peut fonctionner avec une tension double de celle possible avec le système précédent : c'est-à-dire avec 200 volts environ. Aussi, à distance égale, suffit-il, pour l'intensité nécessaire, que chacun des deux conducteurs ait un diamètre moindre de moitié.

Mais, lorsque la région de consommation est plus étendue, il faut, pour les endroits plus éloignés, employer des feeders. D'une station centrale, le conducteur ne peut être conduit économiquement qu'à une distance de 750 à 1000 mètres. Ce système, malgré l'emploi de dynamos compensatrices, exige, pour produire un éclairage satisfaisant, que les appareils régulateurs coopèrent avec précision et que le personnel soit attentif.

Que l'une de ces conditions vienne à ne pas être remplie, et tout l'éclairage laisse à désirer. Il peut, du reste, se produire aussi des perturbations plus graves. L'emploi d'accumulateurs augmente les frais d'installation, ainsi que les frais d'exploitation en grand.

Malgré ces développements, qui paraissent surtout dirigés contre ce système, l'expert arrive à la conclusion favorable suivante : « D'autre part, nous observons qu'en beaucoup d'endroits les accumulateurs complètent et régularisent l'exploitation par les machines : ce fait plaide en faveur de l'utilité des accumulateurs, utilité qui, du reste, ne peut être mise en doute. » Plus loin : « En beaucoup d'endroits, le système à trois fils, combiné avec des accumulateurs, est employé à la satisfaction des consommateurs. »

Le système à cinq fils peut être considéré comme une duplication du système à trois fils : avec cinq conducteurs, en effet, il alimente, au moyen de quatre dynamos installées en série dans la station centrale, les quatre groupes de consommateurs disposés eux-mêmes en série, la tension dans les conducteurs extérieurs étant

d'environ 500 volts. Les deux conducteurs extérieurs sont les conducteurs principaux, les trois intermédiaires servent de compensation, aussi peuvent-ils avoir une plus petite section. Avec ce système, les conducteurs des consommateurs communiquent avec les conducteurs principaux; par suite un défaut dans l'un des premiers affectera la tension entière : cette circonstance n'est pas en faveur du système, étant donné qu'une tension de 300 volts est déjà dangereuse.

Un autre désavantage bien connu est que ce système est très compliqué comme installation et comme manipulation. Comme il y a ici quatre groupes principaux de consommateurs, il faut que chaque appareil régulateur soit employé quatre fois, et par suite il peut très facilement se produire des perturbations aux points de communication entre les cinq câbles séparés du conducteur de distribution (ces points sont nombreux), aux points d'isolement (qui sont nombreux aussi), etc. En général donc, M. Wittmann considère ce système comme n'étant pas à recommander. Il hésite d'autant moins à l'éliminer que nous possédons déjà, à son avis, des conducteurs pour longues distances, plus simples et plus certains.

On s'est peu servi, jusqu'à présent, pour l'éclairage à l'intérieur des édifices, d'accumulateurs en série. Comme, pendant la charge des batteries, l'établissement est relié directement au circuit principal dont la tension est d'au moins 1000 à 1200 volts, les habitants sont en danger; ce système convient mieux pour l'éclairage des rues.

Au sujet du système des transformateurs à courant continu, l'expert dit que les stations de machines doivent être installées au voisinage des lieux de consommation. Un avantage de ce système c'est qu'il permet de produire immédiatement des actions chimiques et de charger des accumulateurs, ces derniers faisant ici fonction de transformateurs. Au point de vue économique, ce système n'est pas avantageux, à cause de l'élévation des frais d'exploitation. L'expérience montre qu'il est très difficile de construire des dynamos pour des tensions aussi considérables que celles nécessaires ici. On ne peut compter sur la sécurité et sur la durée du fonctionnement des générateurs; il est plus difficile encore de maintenir, avec de grandes tensions, le fonctionnement régulier des moteurs à courant continu. Il n'y a pas lieu de recommander non plus la combinaison consistant à faire fonctionner le moteur avec un courant alternatif pour actionner des dynamos à courant continu : l'installation est trop compliquée. Au point de vue technique, il y a encore une autre raison pour laquelle ce système ne paraît point pratique : c'est que pendant la charge le courant parcourt les batteries qui sont moins déchargées ou qui ne le sont pas du tout en même temps que les batteries qui, ayant eu plus à fonctionner, ont déjà livré, sous forme de courant, leur provision d'énergie. Ce mode opératoire abrège notablement la durée des accumulateurs.

M. Wittmann examine en détail le système des transformateurs de courants alternatifs, qui paraît déjà répandu dans toutes les parties du monde.

Bien que les premiers transformateurs ne fussent pas de construction irréprochable, il ne se produisit pas un seul accident mortel par l'effet du passage du courant à haute tension dans le conducteur secondaire. Il est réellement plus dangereux d'introduire le gaz d'éclairage dans des bâtiments.

Ce système satisfait à toutes les exigences qui sont admissibles lorsqu'il s'agit d'approvisionner de courant, au moyen d'une installation centrale, une ville d'une grande étendue.

Comme le conducteur principal fournit un courant de grande tension et de faible intensité et que par conséquent on se sert de câbles à section relativement petite pour conduire ce courant à de grandes distances, la production du courant peut se faire en dehors des quartiers très peuplés : dans un endroit où le fonctionnement de l'usine n'incommode pas la population.

On est libre ainsi de s'étendre et on paye le terrain moins cher, deux résultats appréciés des techniciens.

En général aussi, on est tranquillisé au sujet des transformateurs de courants alternatifs, car on construit maintenant des transformateurs dans lesquels le courant à haute tension ne peu pas franchir la couche isolante; on en construit aussi qui ont une enveloppe protectrice reliée à la terre : cette enveloppe se trouve insérée entre la bobine primaire et la bobine secondaire et conduit dans le sol le courant à haute tension avant qu'il ne pénètre dans la secondaire; elle le rend ainsi inoffensif.

En raison de la différence entre la consommation de jour et la consommation de nuit, ce qu'il y aura de mieux à faire sera de répartir le travail entre plusieurs machines, les unes grandes, les autres petites, de maintenir une grande machine en réserve, et de faire fonctionner les autres en les mettant en parallèle sur tout le réseau conducteur.

Dans l'installation de la Société internationale d'électricité, à Vienne, les machines à courants alternatifs sont actionnées le soir avec insertion en parallèle sur le réseau conducteur commun. Cette disposition donne de bons résultats.

Les transformateurs devant toujours fonctionner à la limite de leur maximum de rendement, même lorsque les besoins atteignent leur minimum, soit le jour, soit la nuit, il s'ensuit que, dans l'installation en série, on peut se servir d'appareils automatiques, tant pour mettre en circuit que pour mettre hors circuit.

Le capital engagé dans les conducteurs n'est donc qu'une partie relativement faible de l'ensemble des fonds nécessaires pour l'installation. Ce qui exige les dépenses les plus considérables, ce sont les bâtiments, les machines et les transformateurs, ce qui paraît avantageux au point de vue de l'amortissement.

On a fait dernièrement des essais en grand avec ce système à courants polyphasés. Pour l'éclairage, ce courant n'est pas supérieur au courant alternatif ordinaire, mais il a une infériorité : c'est qu'avec lui on ne peut pas conserver en service les lampes à arc que l'on a employées jusqu'à présent.

L'appréciation des divers systèmes de conducteurs se termine comme il suit : « De nos développements sur les systèmes de distribution du courant et en particulier sur les systèmes de conducteurs pour la distribution à distance, il résulte que, partant d'un point central, pour fournir du courant électrique à une ville étendue, les systèmes à transformateurs en parallèle présentent des avantages considérables sur les autres. »

Poursuivant son étude, M. Wittmann s'occupe ensuite des modes d'utilisation de l'électricité pour l'éclairage par lampes à incandescence et par lampes à arc et pour force motrice.

Pour les lampes à incandescence, il est absolument indifférent qu'elles soient alimentées par un courant continu ou par un courant alternatif; par contre, pour les lampes à arc, à égale quantité de lumière, l'alimentation au moyen du courant alternatif est plus économique qu'au moyen du courant continu.

Il y a lieu de remarquer aussi que, pour l'éclairage de grands espaces, les lampes à courant alternatif permettent de répandre la lumière plus uniformément que les lampes à courant continu.

En ce qui concerne l'utilisation de la force électrique dans les fabriques, M. Wittmann croit pouvoir admettre qu'elle aurait peine à supplanter la force de la vapeur, que l'on y produit à meilleur compte. En ce qui concerne le rôle que le courant électrique pourrait jouer dans la petite industrie, on constate à Vienne et à Berlin qu'il y a peu de personnes qui emploient le courant comme force motrice, relativement au nombre de celles qui l'emploient pour l'éclairage. Il en est de même, du reste, pour le gaz.

Il ne faut pas oublier cependant que les circonstances peuvent changer et qu'un vaste champ de travail s'ouvrira peut-être, quelque jour, pour l'électricité employée comme force motrice. L'expert fait remarquer que la possibilité d'utiliser les moteurs à courants alternatifs est restreinte et qu'il n'en est pas de même pour les moteurs à courant continu.

M. Wittmann, s'appuyant sur l'opinion émise par M. Brown, ne recommande pas le système fondé sur le courant rotatoire.

M. Wittmann examine la question de savoir s'il serait utile d'emprunter à un établissement commun le courant nécessaire pour actionner des tramways électriques et le courant nécessaire pour l'éclairage. Il répond que le câble, placé dans une galerie souterraine, peut arriver à se trouver en communication avec la terre ou en court circuit, par suite d'infiltrations pluviales ou d'autres causes, ce qui, en tout cas, ne manquerait pas d'amener des perturbations dans le fonctionnement des lampes. Cette considération suffit pour motiver de sa part une réponse négative.

Le courant fourni par le conducteur central ne pourra guère servir dans les petites industries électriques, car pour la galvanoplastie, par exemple, quelques volts de tension suffisent e par suite on serait obligé de commencer par transformer le courant fourni.

L'expert conclut en recommandant, pour l'appréciation des offres, d'exiger que le concession-

naire soit tenu de fournir le courant à quiconque le demandera, pourvu que l'on s'engage à faire une certaine consommation pour telle ou telle longueur nouvelle ; il recommande aussi d'établir l'usine dans une région réservée aux fabriques, — étant incontestable, pour des raisons techniques, que la manière la plus convenable et la plus économique de produire du courant pour en fournir à toute la ville est de le produire dans une station centrale. Or, le système qui, jusqu'à présent, a le mieux satisfait à ces conditions est le système des grands conducteurs fonctionnant avec transformateurs de courant alternatif (1).

C. B.

L'utilisation des forces naturelles (moulins à vent) (2).

Nous avons déjà signalé (3), les intéressants essais de M. Blyth pour utiliser la force du vent à l'éclairage électrique de sa propriété de Marykirk. Nous empruntons les détails suivants au mémoire qu'il a lu à la dernière réunion de la British Association, à Edimbourg.

Le moulin à ailes que ce savant avait adopté en 1887 ne donnait qu'une solution approchée, car on devait larguer les voiles quand le vent acquérait une grande vitesse, de crainte que tout ne fût brisé. On perdait ainsi la majeure partie de la force, au moment même où elle eût été le plus avantageuse. Le moulin américain, en dépit de ses perfectionnements, présentait le même défaut.

Le problème consistait donc à trouver un moulin à vent qui satisfît aux conditions suivantes :

1° Etre toujours prêt à tourner lorsque le vent s'élève;

2° Ne demander aucune surveillance ni aucun entretien pendant de longs intervalles de temps;

3° Etre susceptible de tourner par les vents les plus violents, sans subir aucun dommage et en utilisant leur puissance aussi complètement que possible.

Ainsi que nous l'avons déjà dit, la solution que le professeur de Glasgow a adoptée consiste en une modification de l'anémomètre Robinson. De la théorie, incomplètement connue, il est vrai, de cet appareil, il résulte que la vitesse des coupes tend, quelle que puisse devenir la force du vent, vers une valeur limite telle que le couple dû à la force du vent soit absolument égal à la résistance du mouvement dans l'air et aux frottements sur les pivots.

Le premier appareil d'essai fut monté pendant les mois d'été de 1891. M. Blyth y apporta successivement les modifications nécessitées par le genre de travail qu'il devait effectuer, et ce n'est

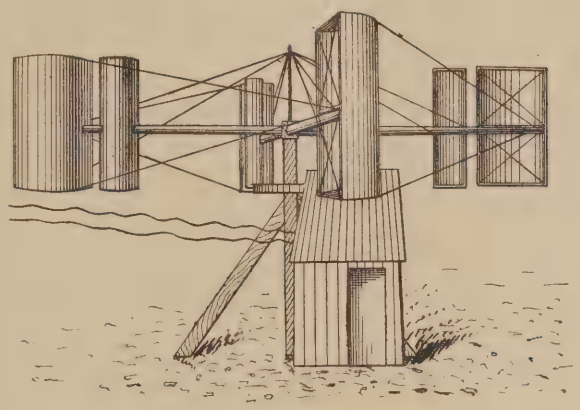


Fig. 1

que dans ces trois ou quatre derniers mois qu'il reçut la forme définitive que nous représentons figure 1.

Les coupes de l'anémomètre de Robinson sont remplacées par des boîtes hémicylindriques, placées aux extrémités de quatre fort bras horizontaux de 8 mètres de longueur chacun (26 pieds). L'ouverture rectangulaire de ces boîtes a 3,05 m. de hauteur et 1,80 m. de largeur (10 pieds × 6).

L'axe vertical est formé par une longue tige de fer de 12 1/2 cm. de diamètre; il porte à sa partie inférieure un train d'engrenages qui entraîne un volant de 1,80 m. de diamètre avec la vitesse nécessaire pour actionner la dynamo: celle-ci est placée dans un petit hangar construit près du moulin, comme le représente la figure; elle est entraînée par le volant au moyen d'une poulie suivant le dispositif ordinaire.

(1) *Der Gastechniker*, t. XVIII, fasc. 7 (Vienne, 1er juillet 1892).

(2) D'après la communication faite par le professeur Blyth, à la session de la British Association, à Edimbourg.

(3) *La Lumière Electrique*, t. XLIV, p. 68.

Un régulateur à force centrifuge, monté sur l'arbre de la dynamo. établit le contact dans un godet à mercure lorsque la vitesse atteint la valeur convenable pour que la force électromotrice suffisante soit obtenue, et le rompt, au contraire, lorsque la vitesse de rotation diminue. M. Blyth a imaginé un commutateur qui met automatiquement en charge un nombre d'éléments proportionnel à la force électromotrice de la machine pour chaque vitesse; de la sorte, on ne perd aucun travail.

Cette installation aurait donné pleine satisfaction; avec un bon vent, la puissance utile était d'environ deux chevaux électriques; avec un grand vent, en laissant tourner le moulin à vide, la vitesse terminale atteinte laissait toute sécurité, et aucun emballement ne s'est produit.

« Ainsi, conclut M. Blyth, je pense que des moulins à vent électriques, au moins pour de petites installations, devront vraisemblablement revêtir cette forme; il n'y a pas de limites aux dimensions qu'on peut leur donner, ni à la force qu'ils peuvent fournir; au besoin, on pourrait en placer plusieurs de dimensions ordinaires l'un à côté de l'autre, dans une position bien exposée, chacun ayant sa dynamo et sa batterie d'accumulateurs. Pendant les quelques derniers mois, j'ai augmenté la puissance du moulin en ajoutant à chaque bras une boîte auxiliaire séparée de la première par un faible intervalle. J'ai reconnu qu'il valait mieux agir ainsi que d'augmenter simplement les dimensions de la boîte primitive ».

Malheureusement, M. Blyth n'a donné aucun chiffre sur la puissance obtenue à différentes vitesses du vent, la durée moyenne d'heures de marche, les temps de repos, les frais de premier établissement, le prix de revient de la lumière.

Ce sont là pourtant des points capitaux. Il est évidemment bien intéressant d'utiliser les forces *gratuites* de la nature, mais encore ne faut-il pas que cela coûte trop cher; nous verrions donc avec plaisir M. Blyth compléter son intéressante communication par une étude comparée du prix de revient de la lumière électrique par son système et par une installation ordinaire.

G. P.

Protecteur et contrôleur de transformateurs de Brown (1892).

Cet appareil est destiné à protéger les transformateurs contre la foudre et les élévations anormales de l'intensité.

Il est représenté sur les figures 1, 2 et 3.

La figure 1 représente une vue de l'intérieur de l'appareil suivant la coupe *ab* (fig. 2); la figure 2 une coupe suivant *cd* (fig. 1) lorsque l'appareil est en fonction, et enfin la figure 3 l'appareil vu de côté avec son couvercle ouvert.

Cet appareil renferme un double paratonnerre PP', un interrupteur bipolaire *rr* et un coupe-circuit double XX monté sur le couvercle mobile de façon à pouvoir être remplacé facilement.

Le paratonnerre est formé de deux séries de

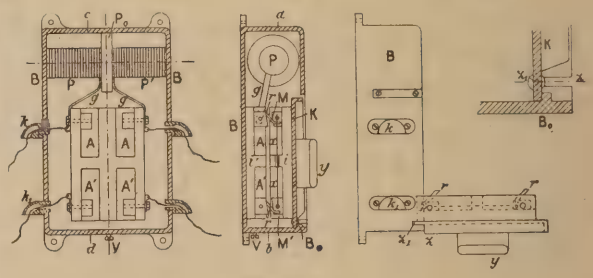


Fig. 1 à 4.

disques de zinc séparés par du mica. Ces deux séries de disques s'appuient sur les parois de la boîte B et sont séparées au milieu par un disque épais en marbre ou en porcelaine P_0. Les extrémités voisines de ce disque sont, par des lames de cuivre *gg*, mises en communication chacune avec l'un des fils d'arrivée du courant, et la boîte métallique est mise en communication avec la terre par la vis V.

Le couvercle K, retenu par la butée B_0 et le ressort *f*, porte le double coupe-circuit *a* formé de deux fils fusibles correspondant aux deux parties du circuit. Ces fils passent par une mince ouverture pratiquée dans la pièce isolante *i* dans le but d'empêcher la continuation de l'arc entre M et M'.

Les deux extrémités de ces fils sont attachées à des blocs métalliques M et M' portant des lames flexibles *r* et *r* pouvant s'appuyer aux blocs A A' isolés du fond de la boîte par la plaque *c'*.

Les blocs A A sont reliés au paratonnerre et aux fils d'arrivée, les blocs A' A' aux fils de sortie.

Le couvercle fourni des lames flexibles *r r* ferme l'interrupteur et par le moyen de fonte *z* et de projections *z'* il peut s'enlever totalement à l'aide de la poignée *y* et permet ainsi de remplacer facilement les fils fusibles.

k k h' h' sont des cloches en porcelaine isolant les fils à leur entrée et à leur sortie.

F. G.

REVUE DES TRAVAUX

RÉCENTS EN ÉLECTRICITÉ

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du 1er mars 1893.

M. Blondel ouvre la discussion sur les propositions de l'*American Institute of electrical Engineers* pour servir de programme aux discussions du Congrès International des Electriciens qui va se tenir à Chicago au mois d'août. Il attire l'attention sur quelques points et en particulier sur les définitions projetées que nous avons publiées dans un des derniers numéros de ce journal.

L'auteur fait remarquer justement que puisque l'on demande au Congrès de définir des quantités connues de tous, ce ne peut être que dans le but de donner plus de clarté ou de précision aux définitions.

Que dire alors de la suivante ?

L'inductivité en un point d'un milieu isotrope est le rapport augmenté de l'unité, de 4π fois l'intensité d'aimantation au point considéré à la densité du flux magnétisant.

On a bien soin de dire qu'*inductivité* est synonyme de *perméabilité*, il ne serait pas moins utile de dire que flux magnétisant est synonyme de force magnétisante. Que de mal on semble se donner pour changer un mot qui est maintenant universellement connu, qui est simplement le rapport de l'induction magnétique à la force magnétisante au point considéré. C'est beaucoup plus clair et c'est moins long.

Au sujet de la force électromotrice imprimée, M. Blondel remarque tout d'abord que la définition proposée : le quotient de la puissance totale dans un circuit conducteur électrique par la valeur instantanée de l'intensité du courant, n'est pas exacte pour le courant alternatif par suite du décalage de phase entre l'intensité du courant et la différence de potentielle agissante.

Du reste le terme force électromotrice imprimée manque de précision et de clarté. Les Anglais et les Américains emploient le mot de *force électromotrice* d'une façon tellement abusive qu'ils sont obligés de lui adjoindre des qualificatifs pour pouvoir se comprendre.

La « force électromotrice » est la différence de potentiel agissante mesurée aux bornes d'un circuit et la « force électromotrice effective » est la chute de potentiel dans la résistance « ohmique » de ce circuit. De sorte que la formule connue :

$$e = Ri + L\frac{di}{dt}.$$

s'exprime ainsi pour les Anglais :

force électromotrice imprimée = force électromotrice effective + force électromotrice de self-induction.

Nous faisons en France une différence bien déterminée entre la force électromotrice ou différence de potentiel créée en un point d'un circuit par une transformation d'énergie, chimique, thermique, magnétique, etc., et la différence de potentiel que nous employons dans tous les autres cas.

Il y a lieu aussi de protester contre l'emploi du terme voltage comme synonyme de différence de potentiel.

Le terme inductance avait besoin d'être précisé, par suite des multiples applications dont il est l'objet, mais sa substitution aux termes auto- (ou self-) induction ne pourra encore qu'augmenter la confusion.

Il y aurait avantage à assigner le terme inductance, comme on le fait actuellement, à la résistance inductive que présente un appareil ou un circuit parcouru par un courant alternatif.

C'est en effet la conséquence la plus appa-

rente et celle que l'on peut apprécier pratiquement lorsqu'il n'y a pas de fer puisque l'on peut toujours sans aucune hypothèse représenter l'intensité efficace I par la valeur :

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + K^2}}.$$

K serait appelé l'inductance et personne ne s'y tromperait.

Dans le cas de la loi d'Ohm, K serait égal à $\frac{2\pi}{T}$ L.

M. Blondel fait remarquer que la définition proposée par le coefficient de self-induction L; quotient de l'induction magnétique totale (flux) embrassée et produite par un courant électrique par l'intensité de ce courant, conduit à une méprise fâcheuse qui est la suivante :

Prenons deux bobines égales sans fer et placées successivement en série (courant I) et en quantitué (courant 2 I). Dans les deux cas le flux total est le même et par suite d'après la définition proposée, la self-induction serait dans le second cas la moitié de ce qu'elle est dans le premier alors qu'en réalité elle doit être réduite au quart.

La définition proposée ne s'applique pas bien non plus au cas d'un circuit magnétique contenant du fer. M. Blondel propose alors la suivante : le coefficient de self-induction est à chaque instant le rapport de la force contre-électromotrice produite par la variation du courant à la dérivée de l'intensité par rapport au temps de :

$$L = \frac{\text{force contre-électromotrice}}{\left(\frac{di}{dt}\right)}.$$

La définition de la réluctivité en un point que l'on traduit par l'expression bizarre de volume différentiel de la réluctance (ce qui n'a aucun sens mathématique) est la dérivée de la réluctance (résistance magnétique) par rapport au volume, ou encore la réluctance par unité de volume autour du point considéré est inexacte, car la résistance magnétique pas plus que la résistance électrique n'est pas une fonction du volume seul, mais dépend comme on le sait de $\frac{l}{s}$.

Du reste, pourquoi définir la réluctivité et lui donner un nom spécial puisque c'est simplement l'inverse de la perméabilité.

M. Blondel attire ensuite l'attention sur l'intérêt que présente l'adoption d'une unité d'éclairement et d'un nom spécial pour la désigner. Le nom de « Lux » peut donc être accepté pour la nouvelle unité et on peut prendre par sa valeur une bougie à un mètre, quantité plus faible que le Violle à un mètre et par suite plus acceptable.

La proposition du choix comme étalon secondaire de la lampe de M. Hefner-Alteneck à l'acétate d'amyle réglé de façon à reproduire exactement une bougie décimale. L'auteur est d'avis que l'on laisse la liberté sur l'adoption de l'étalon secondaire; pour nous, nous avons tout avantage à conserver la Carcel qui reproduit presque exactement la moitié d'un Violle.

En ce qui concerne les lampes à arc, on sait que la composition de la lumière des étalons proposés ne se prête pas à une comparaison avec celle des arcs, en particulier l'étalon Hefner-Alteneck est le plus rougeâtre de ceux employés actuellement et par suite doit être rejeté.

M. Blondel termine en présentant un étalon secondaire spécial pour l'étude photométrique des lampes à arc et fondé sur la constante de la température de l'arc. Nous aurons l'occasion bientôt de revenir sur cet étalon, aussi le laisserons nous provisoirement de côté.

(*A suivre*).

Relation entre la force électromotrice voltaïque et la pression, par G. Gore [1].

Deux plaques métalliques identiques plongées dans un électrolyte ne sont au même potentiel que si l'état moléculaire de l'électrolyte est le même dans le voisinage de chacune des plaques. Une variation de pression étant nécessairement accompagnée d'une variation de l'état moléculaire, il était probable que deux électrodes plongées dans un même électrolyte présenteraient une différence de potentiel quand la pression a des valeurs différentes dans le voisinage de chacune des électrodes.

Quelques expériences faites par l'auteur, il y

[1] *Philosophical Magazine*, t. XXXV, p. 97-113, février 1893.

à quarante-deux ans, dans le but de vérifier cette conséquence, n'avaient donné aucun résultat satisfaisant. Sans doute cet insuccès doit être attribué au défaut de sensibilité du galvanomètre employé, car en répétant récemment ces expériences avec un galvanomètre très sensible, il a pu mettre en évidence l'existence de la différence de potentiel prévue.

Un tube de verre d'environ 3 mètres de long et de 1 centimètre de diamètre (fig. 1) est fermé à ses extrémité par des bouchons dans lesquels passent les fils métalliques de même nature servant d'électrodes. Celles-ci sont reliées à un galvanomètre Thomson à réflexion de 3040 ohms de résistance. Le tube est fixé sur une planche pouvant tourner autour d'un axe horizontal passant par le milieu de sa longueur. Après l'avoir rempli de l'électrolyte et chassé complètement les bulles d'air, on le maintient horizontalement jusqu'à ce que le galvanomètre soit au zéro. On le redresse ensuite verticalement et on suit la déviation du galvanomètre.

Dans beaucoup d'expériences, cinq tubes identiques au précédent étaient fixés sur la même planche. L'électrode supérieure de l'un étant reliée à l'électrode inférieure du suivant, la force électromotrice entre les électrodes des tubes extrêmes était alors cinq fois plus grande qu'avec un seul tube.

Quatre-vingt-onze expériences ont été faites avec les solutions les plus diverses. Dans soixante-cinq d'entre elles les électrodes étaient formées de fils de zinc; dans les vingt-six autres on prenait pour électrodes des fils d'aluminium, de cadmium, d'étain, de plomb, etc. Elles ont fourni les résultats suivants :

1° Quarante et une expériences montrent nettement l'existence d'un courant;

2° Dans trente-neuf cas ce courant est dirigé de bas en haut à travers l'électrolyte;

3° Il est toujours extrêmement petit; la force électromotrice correspondante au courant observé avec deux électrodes de zinc dans une solution de chlorure de potassium a été comparée à celle de couples thermo-électriques et trouvée égale à 0,00572 volt;

4° La force électromotrice augmente avec la concentration;

5° Elle ne prend sa valeur maxima qu'après un certain intervalle de temps qui peut varier, suivant la solution employée, de 4 à 15 minutes; elle conserve ensuite cette valeur pendant plusieurs heures;

6° Aucun courant n'a pu être observé avec l'eau distillée ni avec les acides étendus;

7° Le courant le plus intense a été obtenu avec une dissolution de chlorure de potassium additionnée d'environ un litre de chlore par litre de liquide. D'ailleurs l'addition de chlore à une solution de chlorure de potassium, de brome à une solution de bromure, d'iode à une solution d'iodure, produit toujours un accroissement du courant;

8° En général, les iodures donnent des courants plus faibles que les bromures, et ceux-ci des courants moins intenses que les chlorures.

Pour être certain que les courants observés sont bien dus à la différence de pression dans le voisinage des électrodes, M. Gore entreprit deux nouvelles séries d'expériences. Dans l'une on maintient la même pression aux deux extrémités du tube vertical et l'on ne doit constater aucun courant; dans l'autre on produit une différence de pression aux extrémités d'un tube horizontal et l'on doit observer un courant.

Afin d'obtenir une même pression dans le voisinage des électrodes fixées aux extrémités d'un tube vertical, l'auteur emploie la disposition représentée par la figure 2. Le tube porte une branche latérale parallèle remplie de la dissolution électrolytique jusqu'au niveau de l'électrode supérieure; la pression dans le voisinage de cette électrode est alors égale à celle de l'atmosphère. Un tube recourbé, fixé à la partie inférieure du tube vertical, est fermé par un bouchon portant la seconde électrode; une entaille longitudinale pratiquée dans le bouchon met le liquide en communication avec l'atmosphère. Un diaphragme poreux placé à l'extrémité inférieure du tube vertical empêche la pression de la colonne de liquide contenu dans ce tube de se transmettre au liquide du tube recourbé, et de cette manière la pression est encore celle de l'atmosphère dans le voisinage de la seconde électrode. Deux expériences faites, l'une avec une dissolution de chlorate de potasse, l'autre avec une dissolution d'azotate de strontiane n'ont donné aucune déviation du galvanomètre, bien que des dissolutions moins concentrées de ces mêmes sels aient donné des déviations de 8 divisions dans les expériences précédentes.

La figure 3 représente l'appareil employé pour produire une différence de pression dans le voisinage des électrodes placées dans un même plan horizontal. A est un tube de 1 ou 2 mètres relié par une coudure en gutta-percha B à un tube de verre C contenant l'une des électrodes. L'autre électrode est placée dans un tube E. Les tubes C et E, remplis de la même dissolution électrolytique, sont reliés par un cylindre poreux fixé au milieu d'un bouchon. Le tube A et la coudure B contiennent du mercure. Ce dernier tube est maintenu horizontal jusqu'à ce que la déviation du galvanomètre relié aux électrodes soit nulle; on le redresse ensuite verticalement, de manière à produire une augmentation de pression en C et on observe le galvanomètre.

Dans une expérience où l'on employait une dissolution de chlorate de soude et une colonne de mercure de 1 mètre, on obtint au bout de 3 minutes une déviation de 10 divisions qui diminua ensuite lentement jusqu'à 6 divisions. La longueur de la colonne de mercure ayant été portée à 2 mètres, la déviation fut de 12°. Enfin, ayant fixé à l'extrémité du tube E un tube de 3 mètres rempli de la dissolution électrolytique, on observa encore un courant allant, à l'intérieur de l'électrolyte, de l'électrode la plus pressée à l'autre. La force électromotrice est donc bien due à la différence de pression, et si les déviations observées dans les dernières expériences ne sont pas aussi grandes qu'il était permis de l'espérer par suite de la grandeur de la différence de pression produite, cela tient vraisemblablement à la résistance considérable introduite dans le circuit par le diaphragme poreux.

Ces résultats acquis, la question n'est pas encore complètement résolue. On peut se demander par quel phénomène intermédiaire la différence de pression produit la force électromotrice.

On sait que la chaleur dégagée par une combinaison dépend de la pression et qu'elle augmente avec celle-ci. On pourrait donc admettre que la force électromotrice observée est de nature thermo-électrique, la température dans le voisinage de l'électrode inférieure étant plus grande que celle dans le voisinage de l'électrode supérieure par suite de la différence des chaleurs de combinaison du métal des électrodes avec l'électrolyte. Mais cette explication paraît peu probable, car il a été constaté qu'en général une élévation de température rend un métal plus électropositif quand il est plongé dans des solutions alcalines ou de sels alcalins, tandis qu'elle le rend plus électronégatif quand il est plongé dans des solutions acides ou de sels acides. On aurait donc dû constater un courant dirigé de haut en bas à travers l'électrolyte avec ces dernières solutions. Or, on n'a pu observer aucun courant avec les acides étendus, et, dans le cas des dissolutions de sels acides, le courant était toujours dirigé de bas en haut comme dans le cas des dissolutions alcalines.

D'ailleurs M. Gore a fait quelques expériences qui, à son avis, montrent bien l'inexactitude de cette explication. Aussi propose-t-il d'expliquer l'existence de la force électromotrice par une diminution de la vitesse des molécules de l'électrolyte sous l'influence de la pression. L'énergie électrique produite résulterait ainsi d'une diminution de l'énergie potentielle de l'électrolyte comprimé. Bien que hardie cette hypothèse est fort plausible, et l'auteur développe plusieurs considérations en sa faveur. Contentons-nous de faire observer que la force électromotrice que l'on observe entre deux électrodes identiques plongées dans des dissolutions d'un même sel à des degrés différents de concentration s'explique d'une manière analogue par une différence de vitesse moléculaire.

Une même différence de pression produisant une variation de force électromotrice dépendant de la nature de l'électrode et de l'électrolyte, la force électromotrice d'un couple voltaïque à deux liquides doit nécessairement varier avec la pression. En outre, cette variation doit être plus faible que celle que l'on constate avec un seul liquide, puisque, d'après les expériences précédentes, l'effet de la pression est de produire en général des variations de même sens avec des électrodes de zinc, d'étain, d'aluminium, d'or, de platine, etc., et que par suite c'est seulement la différence de ces variations qui apparaît dans le cas d'une pile à deux liquides. Si on compare ces conséquences aux résultats du travail que M. Gilbault a publié dans ce journal (t. XLII, p. 7, 63, 175, 220; 1891), on constate qu'elles sont vérifiées expérimentalement.

M. Gilbault a en effet constaté que la force

électromotrice des piles Daniell, De la Rue, Volta, Bunsen, etc. variait avec la pression et que cette variation, tantôt positive, tantôt négative, était toujours très petite; pour l'élément Daniell, par exemple, une augmentation de pression de 100 atmosphères augmente la force électromotrice de 0,0005 volt.

Une autre conséquence que signale M. Gore est que la force électromotrice d'un couple dépend de la gravité du point où l'on se trouve, puisque la pression due au poids de l'électrolyte est, dans certains cas, suffisante pour faire varier cette quantité. La force électromotrice d'un étalon varie donc avec la latitude et avec l'altitude. Cette conséquence inattendue présente quelque intérêt, aujourd'hui que la précision des mesures exige des étalons d'une constance absolue.

J. B.

Les propriétés électriques des substances pures (la préparation de l'azote pur et les tentatives faites pour le condenser), par R. Threlfall (1).

En 1886, MM. J.-J. Thomson et Threlfall publiaient dans les *Proceedings of the Royal Society* une note dans laquelle ils exposaient les résultats de leurs expériences sur l'azote pur. Le principal était que, sous l'influence d'une longue série de décharges électriques, l'azote pur diminuait de volume, cette variation de volume étant mesurée par la dénivellation d'un manomètre à mercure soudé au tube contenant l'azote. Ils en concluaient que sous l'influence des décharges il y a une condensation des molécules de l'azote analogue à la condensation moléculaire que subit l'oxygène en se transformant en ozone.

Pendant les années 1891 et 1892, M. Threlfall entreprit une longue série d'expériences dans le but de vérifier ce résultat. Le plus difficile était la préparation de l'azote absolument pur. Après avoir essayé toutes les méthodes proposées pour cette préparation, l'auteur s'est arrêté à celle de M. Berthelot qui consiste à absorber l'oxygène de l'air par le contact prolongé de celui-ci avec de la tournure de cuivre imbibée d'ammoniaque. Les traces d'oxygène que contient encore l'azote ainsi préparé sont absorbées par du protochlorure chromeux préparé à l'abri de l'air par l'action de l'acide chlorhydrique et du zinc sur du bichromate de potasse. Ce procédé, sur lequel l'auteur s'étend longuement dans son Mémoire, paraît être le meilleur pour la préparation de l'azote pur.

L'auteur ayant soumis à l'action des décharges un tube rempli de ce gaz sous une pression de 8 mm. de mercure et complètement clos, n'obtint pas la diminution de pression à laquelle il s'attendait. Un autre tube muni d'électrodes soudées dans ses parois donna également un résultat négatif, bien que la durée des décharges d'une électrode à l'autre, à travers le gaz, eussent été de 10 heures.

M. Threlfall pensa alors que la diminution de volume observée dans les expériences de 1886 était peut-être due à une action de l'azote sur le mercure du manomètre. Pour vérifier cette hypothèse, il remplit de gaz plusieurs tubes à électrodes munis d'un tube latéral contenant du mercure; en chauffant celui-ci il faisait passer des vapeurs mercurielles dans le tube à électrodes. Dans ces conditions, le passage des décharges produisait une diminution de pression sensible; en même temps, il se formait une substance noire, explosive, qui sans doute était le trimercure aminé de Plantamour.

Il est donc bien démontré que, contrairement à la conclusion publiée en 1886, l'azote ne subit pas de condensation moléculaire par le passage des décharges.

J. B.

Impédance d'un circuit formé de dérivations, par M. Alex. Russell.

Les formules ordinaires qui donnent la solution de ce problème sont compliquées et se prêtent difficilement à un calcul arithmétique. L'impédance peut se calculer cependant graphiquement sans beaucoup de difficultés; la méthode est instructive et la figure complète montre à la simple inspection les phases relatives des différents courants.

Une solution géométrique du cas particulier de deux circuits en parallèle a été donnée par M. Fleming dans son traité sur les courants alternatifs. Le principe de la méthode est que les impédances et les résistances équivalentes sont données par des échelles différentes.

(1) *Philosophical Magazine*, t. XXXV, p. 1-35, (janvier 1893).

Supposons que dans le cas actuel l'induction mutuelle des différents circuits entre eux soit négligeable, que les coefficients de self-inducteur soient constants et enfin que la force électromotrice imprimée suive la loi du sinus.

Désignons par R_1 R_2... les résistances des bobines placées en parallèle, par L_1, L_2..., leurs coefficients de self-induction et enfin par E. cos mt la force électromotrice.

Le courant dans la branche (R_1, L_1) est donné par :

$$\frac{E}{\sqrt{R_1^2 + m^2 L_1^2}} \cos (mt - \varphi),$$

ou

$$\varphi = \frac{mL_1}{R_1},$$

Si I est le courant maximum dans cette branche, on a :

$$I_1 \sqrt{R_1^2 + m^2} = E.$$

D'autre part la valeur instantanée du courant avant le passage dans les bobines est égal à la somme des courants après la division. Nous savons, en outre que ces courants suivent la loi d'ohm et que leur valeur est donnée par un théorème analogue à celui de la composition des forces concurrentes.

Pour construire des segments proportionnels aux impédances $\sqrt{R_1^2 + m^2 L_1^2}$... traçons deux axes rectangulaires ox et oy, et prenons sur ox des longueurs $OR_1 = R_1$,... et sur oy des longueurs $OL_1 = mL_1$,... et joignons R_1 L_1,.. Les segments $\overline{R_1L_1}$, $\overline{R_2L_2}$, représenteront les impédances des différents circuits et les angles α, β... les angles de retard de ces courants sur la force électromotrice.

Sur la figure 2 prenons un point quelconque A sur oy et sur OA comme diamètre, décrivant un cercle, OA étant plus grand que la plus grande des impédances. Traçons les cordes AB_1, AB_2,... égales aux segments L_1R_1, L_2R_2,... et prolongent ces lignes jusqu'à leur rencontre avec ox en C_1, C_2,...

Sur la figure 2 on a :

$$C_1 . AB_1 = C_2 . AB_2 = . \qquad = E,$$

et :

$$AC_1 . AB_1 = AC_2 . AB_2 = \ldots \qquad = OA_2.$$

AC_1, AC_2 sont donc proportionnelles à l'intensité du courant dans chaque bobine.

Dans la figure 3 faisons avec OE les angles C_1 O E, C_2 O E,... égaux aux angles α, β,... et portons les longueurs OC_1, OC_2... égale aux longueurs AC_1, AC_2... de la figure 2.

Du point C_1 menons C_1 D parallèle et égale à OC_2 et de D, DC parallèle et égale à OC_3, et joignons OC, en supposant qu'il n'y ait que trois dérivations. OC sera alors proportionnel au courant avant sa division dans les circuits. L'angle du retard du courant OC sur la force électromotrice et l'angle COE et les différences

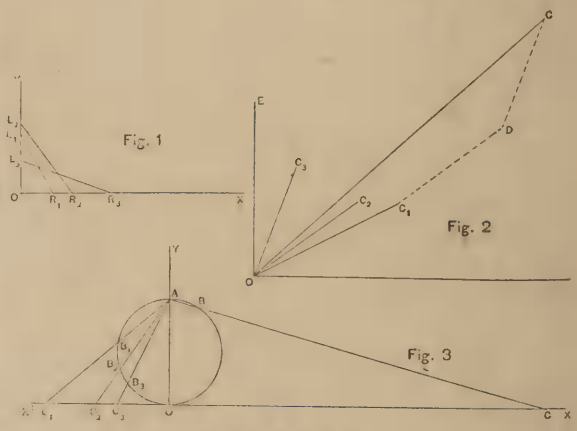


Fig. 1, 2 et 3.

de phase entre les courants peuvent être mesurés sur la figure.

Traçons sur la figure 2, AC égal à OC de la figure 3. Cette droite coupe le cercle en B.

Le segment AB est l'impédance résultante. Des formules données par lord Rayleigh (*Phil. Mag.* 1886) on déduit la formule

$$\frac{1}{AB_2} = \left[\Sigma \frac{R_1}{R_1^2 + m L_1^2}\right]^2 + m^2 \left[\Sigma \frac{L_1}{R_1^2 + m^2 L_1^2}\right]^2,$$

qui permet de calculer AB par d'autres méthodes géométriques.

La méthode ci-dessus est également applicable au cas où il y a des condensateurs dans le circuit, chaque condensateur pouvant être considéré comme un circuit ayant une résistance nulle et un coefficient de self-induction $-\frac{1}{m^2C}$.

F. G.

Expériences de décharges électriques de haute fréquence, par A. Campbell Swinton (1).

L'auteur a pu faire passer au travers de son corps, d'une main à l'autre, suffisamment d'électricité pour amener presque à l'incandescence complète une lampe de 5 bougies (100 volts) ou porter au rouge le filament d'une lampe de 32 bougies (100 volts). La sensation éprouvée était pratiquement nulle.

L'appareil employé était une grande bobine d'induction de Apps, susceptible de donner 25 centimètres d'étincelle; elle fonctionnait sur une distribution de courant continu à 105 volts avec une résistance interposée de huit lampes de 50 bougies en quantité et avec un interrupteur ordinaire. L'énergie au circuit primaire, indépendamment de la perte dans la résistance et à l'interrupteur était d'environ 350 watts ou près d'un demi-cheval de puissance électrique. Les bornes positive et négative du circuit secondaire de la bobine communiquaient respectivement aux armures interne et externe de trois bouteilles de Leyde d'un demi-gallon en quantité. La décharge disruptive de cette batterie passant dans un intervalle d'environ 6 millimètres alimentait le circuit primaire d'une bobine de haute fréquence analogue à celles employées par M. Tesla et par le professeur Thompson; l'enroulement secondaire de cette bobine se composait de 500 spires de fil n° 26 S W G couvert de coton et enroulé sur un tube de papier. Extérieurement à ce tube de papier il y avait un tube de verre supportant les 10 spires du primaire formées de fils parallèles n° 16 couverts de gutta et coton. Toute la bobine plongeait dans l'huile...

Les faits observés quand on reçoit les décharges sur la peau ou par l'intermédiaire d'un conducteur métallique, l'incandescence de la lampe tenue en main et la lueur phosphorescente de l'ampoule ont été reproduits par l'auteur; il les accompagne de quelques observations.

Ainsi pour produire l'incandescence du filament de la lampe telle qu'il l'obtient, il faudrait environ 1/5 d'ampère avec un courant continu. M. Swinton incline à penser que cela montre que l'on peut obtenir avec un très faible courant de haute fréquence des effets qui ne peuvent être obtenus des courants continus ou alternatifs ordinaires beaucoup plus intenses; le courant de haute fréquence dans la lampe ne passe probablement qu'à la surface même du filament dont la résistance virtuelle est alors grande, une très faible section du filament agissant comme conductrice; la lampe en fait cesse d'être une lampe de 100 volts, elle peut devenir une lampe de 100 000 volts. On doit ajouter comme une confirmation de cette hypothèse que des étincelles passent pendant l'incandescence de la lampe d'une borne à l'autre; elles prouvent qu'il y a quelques milliers de volts de différence de potentiel entre les deux extrémités du filament.

L'auteur rapporte également un certain nombre de faits mettant en évidence l'influence bien connue de la capacité dans les effets obtenus avec la bobine de haute fréquence et il indique dans quelques-unes de ses expériences la tendance manifeste du filament de la lampe à vibrer à l'unisson de l'interrupteur de la bobine d'induction.

(1) Extrait du *Philosophical Magazine* de Londres.

Les effets physiologiques et autres des courants de haute fréquence, par M. Nikola Tesla (1).

Les expériences de M. Swinton et leur publication dont il est question ci-dessus donnent occasion à M. Tesla de revenir sur les publications beaucoup plus étendues qu'il a faites originellement sur le sujet. Le moindre danger des courants de haute fréquence a été établi sans prétendre qu'ils soient absolument inoffensifs.

Pour les courants de très haut potentiel, M. Tesla a toujours considéré non l'intensité mais l'énergie que le corps humain peut supporter; il a montré que plus grande est la fréquence et plus grande est l'énergie électrique qui peut passer sans dommage au travers du corps.

Quant à l'incandescence du filament de la lampe par un courant de haute fréquence relativement faible, elle ne provient pas de l'impédance ou d'un accroissement de résistance ohmique, mais elle tient surtout à la présence du gaz raréfié dans l'ampoule...

Ce serait aussi une erreur de croire toujours que les étincelles produites entre deux points peu distants l'un de l'autre d'un même conduc-

(1) Extrait d'après l'*Electrical Engineer* de New-York.

teur sont dues à l'impédance du conducteur. Cela est vrai pour des courants intenses, comme dans certaines expériences du Dr Lodge, où une grande batterie se décharge au travers d'un fil ; mais quand il y a un état vibratoire constamment maintenu le long d'un fil, que le courant est très faible et le potentiel au pôle de la bobine très élevé, la dissipation latérale joue un rôle prédominant. Il y a alors, en raison de cette dissipation, une chute rapide de potentiel le long du fil et de grandes différences de potentiel peuvent exister à de faibles distances; et ceci n'est point à confondre avec les différences de potentiel observées quand il y a des ventres et des nœuds fixes sur un conducteur. La dissipation latérale et non l'effet de surface est pour M. Tesla le motif de la grande quantité d'énergie qui peut traverser le corps humain sans faire éprouver de souffrance.

E. R.

Recherches expérimentales sur les transformateurs à courants alternatifs, par M. J.-A. Fleming [1].

VI. — Expériences avec le wattmètre Swinburne

17. Comme nous l'avons dit, M. Swinburne avait envoyé avec son transformateur un wattmètre monté dans une boîte en laiton et qui était destiné à la mesure de la puissance pour courants alternatifs. Dans la plupart des tableaux donnant la puissance absorbée par les divers transformateurs, on trouvera une colonne intitulée : « Puissance totale dissipée dans le transformateur, mesurée par le wattmètre Swinburne », et dans les courbes des pertes totales, ces nombres sont reproduits en une ligne pointillée. Dans beaucoup de cas, nous avons fait des mesures avec le wattmètre Swinburne en même temps qu'avec notre wattmètre Siemens. Le wattmètre Swinburne était soigneusement étalonné sur la même résistance non inductive que le wattmètre Siemens, et sa constante était déterminée.

L'examen des valeurs de la puissance dissipée montre que les valeurs fournies par le premier wattmètre envoyé par M. Swinburne étaient presque toutes inférieures, souvent de beaucoup, à celles données par notre wattmètre. Dans le cas du transformateur Westinghouse, les deux instruments donnaient à peu près la même valeur à charge nulle; de même pour le transformateur Ferranti de 15 chevaux, les différences entre les indications des deux instruments ne sont pas très grandes aux diverses charges.

Le cas est tout différent lorsque le wattmètre Swinburne est employé à la mesure de la puissance dissipée dans un transformateur de faible facteur de charge. Dans le cas du transformateur Thomson-Houston, le wattmètre Swinburne donnait des valeurs d'un tiers inférieur à celles lues au dynamomètre; dans le cas du transformateur Kapp, la différence était encore plus grande. Et, chose remarquable, avec le transformateur Swinburne, ce wattmètre n'indiquait que des puissances moitié moindres que celles indiquées par le dynamomètre.

Nous avons répété ces expériences maintes fois, en étalonnant les instruments de diverses façons et en employant toutes les précautions. La moyenne de toutes nos observations avec le wattmètre Swinburne nous donna 74 watts comme puissance dissipée à charge nulle dans le « hérisson » de 3000 watts, et la valeur la plus fréquente était de 55 watts. Nous avons vu que toutes nos autres méthodes avaient donné comme moyenne 114, et le dynamomètre 121 watts. Il y avait donc là une singularité à expliquer. Deux solutions se présentaient. Ou nos méthodes du dynamomètre, des trois voltmètres et des trois ampèremètres donnaient des nombres trop élevés pour le « hérisson », ou bien M. Swinburne avait accompli la remarquable prouesse d'inventer un wattmètre qui, tout en indiquant correctement la puissance perdue dans les transformateurs à circuit magnétique fermé, restait de 50 o/o au-dessous des valeurs réelles lorsqu'on l'appliquait à son propre transformateur.

18. Il était nécessaire d'examiner cette singularité avec le plus grand soin. Des expériences ont donc été faites avec trois petits transformateurs « hérissons » construits pour expériences de cours. Ils transformaient de 100 à 33 volts. Ces trois petits appareils étaient disposés avec leurs primaires (100 volts) en parallèle, et leurs secondaires ouverts. La puissance dissipée dans les trois transformateurs était mesurée par la méthode des trois voltmètres, par le dynamomètre, et par le wattmètre Swinburne. Ces expériences étaient effectuées ainsi :

[1] *La Lumière Electrique*, t. XLVII, p. 429.

En série avec les transformateurs, on plaçait une paire de lampes à incandescence comme résistance non inductive, et l'on se servait de trois voltmètres Kelvin multi-cellulaires disposés pour la méthode des trois voltmètres. La résistance des lampes était obtenue par une mesure du courant qui les traversait.

Tableau XXXI. — Expériences sur la puissance dissipée dans trois petits transformateurs « hérisson ». Mesure par la méthode des trois voltmètres.

Courant primaire Ampères	Indications des voltmètres électrostatiques V_1	V_2	V_3	Résistance en série avec les transformateurs Ohms	Puissance dissipée dans les trois transformateurs Watts
2,02	100	93,6	143,0	46,3	18,2
2,02	100	93,9	143,5	46,5	19,1
2,02	100	94,0	143,0	46,5	17,1
2,02	100	93,9	143,4	46,5	18,9
2,02	100	93,9	143,0	46,5	17,6
2,02	100	94,3	144,0	46,7	19,4
2,07	100	95,2	144,7	45,9	20,4
2,06	100	95,4	144,6	46,2	19,5
2,096	100	95,5	145,0	46,1	20,7
2,092	100	96,7	145,8	46,2	20,5
				Puissance moyenne.....	19,26

Les résultats de 11 mesures sont donnés dans le tableau XXXI.

Tableau XXXII. — Expériences sur la puissance dissipée dans trois petits transformateurs « hérisson ». Mesures par le dynamomètre et le wattmètre Swinburne.

Volts aux bornes des transformateurs	Indications du Dynamomètre wattmètre	Wattmètre Swinburne	Puissance dissipée par les trois transformateurs, en watts; Par le dynamomètre	Par le wattmètre Swinburne
100	15,0	28,5	19,1	12,6
100	15,1	28,5	19,2	12,6
100	15,1	28,8	19,2	12,7
		Moyennes.....	19,16	12,61

Comparaison des résultats moyens obtenus :

	watts
Par la méthode des trois voltmètres.....	19,26
Par le dynamomètre wattmètre.....	19,15
Par le wattmètre Swinburne.....	12,61

Ensuite, on étalonnait soigneusement les deux wattmètres sur une lampe à incandescence fonctionnant à 100 volts, et l'on mesurait la puissance au moyen de ces instruments. Le tableau XXXII donne les résultats obtenus.

Nous voyons que les valeurs obtenues par les deux premières méthodes concordent bien, tandis que la valeur donnée par le wattmètre Swlnburne est plus petite de près de 34 o/o.

M. Swinburne avait joint à son transformateur un condensateur destiné à être placé en dérivation aux bornes du « hérisson ». Nous avons donc employé les deux wattmètres à la mesure de la puissance absorbée : 1) dans le condensateur seul, 2) dans le transformateur seul, et 3) dans les deux appareils à la fois. La tension primaire était de 2400 volts dans les trois cas.

Lorsque le condensateur était seul, le courant qui y entrait était de 0,458 ampère. Puisque la fréquence était de 83 périodes par seconde, cela indiquait une capacité d'environ 0,36 microfarad. Le courant d'excitation du transformateur de 3000 watts était de 0,761 ampère, et le courant total pour les appareils combinés était de 0,283 ampère. Pour chaque cas, on a fait quatre mesures de la puissance avec chaque wattmètre.

Les résultats sont ceux indiqués dans le tableau XXXIII.

Tableau XXXIII. — Expériences sur la puissance absorbée dans un condensateur et un transformateur « hérisson », à la tension de 2400 volts.

a) Puissance absorbée dans le condensateur seul.

	Par le wattmètre Swinburne		Par le dynamomètre wattmètre	
	44,8	watts	18,0	watts
	44,0	»	21,0	»
	50,0	»	30,0	»
	47,0	»	27,0	»
Moyenne.	46,4		Moyenne. 24,0	

b) Puissance absorbée par le transformateur sans charge.

	Par le wattmètre Swinburne		Par le dynamomètre wattmètre	
	41,5	watts	120,0	watts
	44,0	»	120,0	»
	36,0	»	108,0	»
	33,0	»	112,0	»
Moyenne.	39,0		Moyenne. 115,0	

c) *Puissance absorbée par le condensateur en dérivation avec le transformateur.*

	Par le wattmètre Swinburne		Par le dynamomètre wattmètre
	96,3 watts		144,0 watts
	95,0 »		144,0 »
	100,0 »		150,0 »
	95,0 »		140,0 »
Moyenne.	96,5	Moyenne.	144,0

On voit que si le wattmètre de M. Swinburne indique des valeurs trop faibles lorsqu'on l'applique à son transformateur, il donne des nombres trop grands avec son condensateur.

On pouvait admettre que le courant traversant le circuit shunt du wattmètre était *en avance* sur la phase de la différence de potentiel primaire. L'exactitude du wattmètre est liée à la concordance du courant avec la différence de potentiel. Lorsqu'on s'en sert avec le transformateur à circuit ouvert, le courant primaire, ou celui qui traverse la bobine en série, est en retard sur la différence de potentiel primaire. Donc, si le courant dans le circuit shunt est en avance, la différence de phase entre les courants des deux circuits est plus grande, et par suite le produit moyen diminue. D'autre part, lorsqu'il s'agit d'un condensateur la phase du courant est en avance sur la différence de potentiel. Donc le même raisonnement indique que si pour une raison quelconque le courant dans la bobine shunt du wattmètre est mis en avance, le produit moyen doit augmenter. L'indication du wattmètre sera donc trop faible pour le transformateur et trop forte pour le condensateur.

Cet avancement de la phase du courant dans le shunt peut être produit par une *capacité* faisant partie de ce circuit. La résistance du shunt dans le wattmètre Swinburne est d'environ 100300 ohms; 300 pour la bobine mobile et 100000 pour la résistance constituée par un fil enroulé en double et enfermé dans deux boîtes de laiton. Nous avons cherché si, en augmentant la capacité de ces deux parties du circuit shunt, nous pouvions exagérer le défaut.

Expérience 1. — Une petite bouteille de Leyde d'environ 0,001 ou 0,0005 microfarad de capacité avait ses armatures en relation avec les extrémités de la résistance intérieure (100000 ohms) du circuit shunt. Ainsi modifié, le wattmètre Swinburne était appliqué à la mesure de la puissance absorbée dans le « hérisson » de 3000 watts à circuit ouvert. Sans adjoindre la capacité la déviation était de cinq divisions, correspondant à environ 80 watts. Avec la bouteille de Leyde, la déviation tomba à 0,3 division, ou 5 watts. Ce changement ne se produisait pas lorsqu'on mesurait la puissance absorbée dans une résistance non inductive.

Expérience 2. — Afin de déterminer l'emplacement de la capacité existant dans le shunt, nous avons remplacé les boîtes de résistance en laiton par une résistance de 34000 ohms constituée par des filaments de lampes à grande résistance. En mesurant la puissance absorbée dans un « hérisson » de 3000 watts et dans un transformateur de Ferranti de 15 chevaux, d'abord avec le wattmètre contenant 34000 ohms dans le shunt, puis avec le même instrument muni de ses 100000 ohms dans les boîtes de laiton, on ne trouva aucune différence appréciable dans les lectures. Pour le « hérisson » l'indication était de 79 watts avec la résistance en filaments de lampes, et de 81 watts avec la résistance en fil. Pour l'autre transformateur les valeurs correspondantes étaient de 125 et 130 watts. Il semblait donc plus probable que la capacité était due à la bobine mobile composée d'un grand nombre de tours.

Quelque temps après ces expériences nous recevions de M. Swinburne un second wattmètre, semblable au premier, mais où l'enveloppe extérieure de laiton avait été remplacée par une boîte en ébonite, et qui n'avait aucune pièce métallique dans le voisinage de la bobine mobile. Ce second wattmètre fut soigneusement comparé avec le premier et avec notre dynamomètre. Les trois wattmètres furent étalonnés sur une résistance non inductive absorbant 600 watts avec une différence de potentiel de 2400 volts. Les wattmètres furent ensuite employés à mesurer la puissance absorbée dans le transformateur « hérisson » de 3000 watts, dans le condensateur Swinburne, dans l'ancien transformateur Ferranti de 1850 watts et dans les transformateurs Kapp et Thomson-Houston. Le tableau XXXIV donne les résultats de ces expériences.

Ce second wattmètre avec boîte d'ébonite concorde donc beaucoup mieux avec le dynamomètre que ne le faisait le premier avec enveloppe de laiton. Les différences entre les indications du second wattmètre et celles du dynamomètre rentrent dans les limites des erreurs

d'observation. D'après ce que nous avons dit plus haut, la différence de phase produite dans le premier instrument était due à un effet de capacité. Il est difficile de comprendre qu'un effet de ce genre ait pu être produit par les courants de Foucault créés dans les pièces métalliques près de la bobine mobile; car, s'il est vrai que ces courants auraient pu amoindrir le flux et rendre les indications trop faibles, il faut aussi tenir compte de ce fait que les indications étaient trop fortes avec un condensateur.

TABLEAU XXXIV. — *Comparaison des indications des wattmètres sur différents circuits.*

Indication du dynamomètre wattmètre	Indication des wattmètres Swinburne			Appareils essayés
	Second modèle	Premier modèle		
		Avec boîte	Sans boîte	
600	600	600	600	Résistance étalon
114	106	57	68	« Hérisson » de 3000 watts
15	20	46	—	Condensateur
114	99	83	—	Transformateur Thomson-Houston
156	154	112	—	Transformateur Kapp
303	282	—	—	— Ferranti

Avant d'appeler un wattmètre « non inductif », il est donc nécessaire de l'essayer soigneusement sur des circuits à faible facteur de charge, à grande capacité ou inductance.

VII. — Observations générales relatives à l'emploi des dynamomètres wattmètres

Les expériences qui précèdent nous conduisent à recommander les plus grandes précautions dans l'emploi des wattmètres en général. Si nous considérons un courant périodique simple I traversant un circuit inductif avec la difrence de potentiel V aux extrémités de ce circuit, la puissance moyenne absorbée dans le circuit est $\frac{1}{2}$ I V cos Φ, si V et I sont les valeurs maxima, et Φ la différence de phase entre I et V. Quand Φ varie, la variation relative de la puissance P est exprimée par

$$\frac{dP}{d\Phi} = -\frac{1}{2} I V \sin \Phi ;$$

on a donc le rapport

$$\frac{dP}{P} = -\operatorname{tang} \Phi \, d\Phi .$$

Ceci nous montre qu'une faible variation de Φ produit dans la mesure de la puissance une erreur d'autant plus grande que Φ est plus près de 90°.

Dans le cas d'un transformateur à circuit magnétique ouvert, il existe une très grande différence de phase entre le courant et la différence de potentiel primaires.

Par conséquent, si par capacité ou par inductance la phase du courant dans le shunt du wattmètre est légèrement déplacée, la variation relative introduite dans la mesure de la puissance est beaucoup plus grande que si l'instrument avait été employé pour essayer un transformateur à grand facteur de charge.

Il est donc désirable que la partie mobile du circuit shunt soit composée d'un très petit nombre de spires, et que l'on évite d'introduire dans l'appareil des pièces métalliques. En général, il sera, dans ces conditions, difficile de donner à la bobine shunt un moment magnétique suffisant avec des courants faibles. Cela veut dire que le wattmètre absorbera lui-même une puissance considérable. Il est néanmoins préférable d'employer un wattmètre qui absorbe quelques chevaux et qui donne des résultats précis, que de réduire le courant dérivé à une valeur faible et d'introduire de ce chef des erreurs. Il est aussi nécessaire d'éviter la capacité que d'annuler la self-induction dans le circuit shunt. Quant à la résistance non inductive extérieure en série avec la bobine mobile, nous avons toujours préféré employer une série de lampes à incandescence. Cela ne présente pas de difficulté lorsqu'on peut maintenir constante la différence de potentiel primaire; mais le moyen est peut-être dispendieux.

Je conclus de toutes mes expériences qu'un dynamomètre wattmètre est un instrument très utile à employer dans les mesures industrielles, et qu'il est bien plus facile à manier que toutes ces méthodes compliquées qui font si bonne figure sur le papier, mais qui présentent de grandes difficultés dans la pratique. En tout cas, il est nécessaire de pouvoir disposer d'une résistance non inductive pour étalonner le wattmètre avant toute mesure.

VIII. — Expériences sur les phénomènes magnétiques qui se produisent dans les transformateurs au moment de leur mise en circuit.

J'ai effectué, il y a plus d'un an, des expériences sur les phénomènes magnétiques de la mise en circuit des transformateurs, et je pense que ces observations peuvent avoir quelque importance pratique. On a eu des exemples de transformateurs ayant fait un long service et qui tout-à-coup furent détériorés au moment d'une mise en circuit. Nous avons fait les expériences suivantes :

Expérience 1. — Le circuit secondaire d'une bobine d'induction donnant des étincelles de 10 centimètres de longueur était fermé par un tube à air raréfié très sensible, à longues électrodes de platine. On enleva la bobine primaire ordinaire avec noyau de fer, et on la remplaça par une bobine de 12000 tours de fil de cuivre isolé enroulé sur un noyau en bois. Cette bobine, qui pouvait être glissée à l'intérieur de la bobine secondaire, était placée en série avec le circuit primaire d'un transformateur de 40 chevaux, dont le courant d'excitation était de 0,137 ampère. A circuit secondaire ouvert, ce courant d'excitation traversant aussi le primaire de la bobine d'induction était juste suffisant pour produire une faible lueur du tube raréfié, visible dans l'obscurité. On faisait ensuite glisser la bobine primaire jusqu'à l'endroit précis où la lueur disparaissait. Dans ces circonstances, le tube à air raréfié était un indicateur extrêmement sensible de toute augmentation du courant primaire. En fermant et ouvrant brusquement et fréquemment le circuit primaire du transformateur au moyen d'une clef, on s'aperçut que par intervalles, quelquefois au moment de la fermeture du primaire, le tube raréfié était illuminé brillamment, montrant ainsi qu'un afflux de courant excédant de beaucoup le courant normal avait lieu dans le transformateur.

Expérience 2. — Une autre façon de déceler cet afflux de courant est d'insérer dans le circuit primaire du transformateur une lampe à incandescence amenée à l'incandescence normale par le courant d'excitation. Ainsi, dans une de nos expériences, une lampe à incandescence de 10 bougies, prenant 0,33 ampère, était placée dans le circuit primaire d'un transformateur de 5 chevaux, dont le courant d'excitation était de 0,35 ampère. En laissant le secondaire ouvert et en fermant brusquement le primaire, on observait dans la plupart des cas que la lampe était amenée régulièrement à l'incandescence normale; mais dans plusieurs cas, la fermeture brusque du circuit avait pour effet de faire jaillir une vive lumière de la lampe, au point de noircir le verre et quelquefois de briser le filament.

Expérience 3. — Dans une autre expérience, une balance Kelvin pour centiampères était intercalée dans le primaire d'un transformateur de 40 chevaux, dont le courant d'excitation était de 0,17 ampère. La balance était réglée de façon à être en équilibre pour ce courant. Dans plusieurs cas de fermeture brusque du circuit, la balance était violemment soulevée, même lorsque le poids avait été mis dans des positions correspondant à 5 ou 10 ampères. Dans un cas, le poids ayant été dans la position correspondant à 10 ampères, la balance fut brusquemement soulevée à la troisième fermeture du circuit. Une autre fois, l'à-coup reçu par la balance fut si violent que le poids de 66 grammes fut jeté hors du plateau.

Expérience 4. — Le moyen le plus sûr et le plus commode pour montrer l'existence de cet afflux de courant consiste dans l'emploi d'une forme simple d'électrodynamomètre. On fit construire deux bobines plates avec 23 tours de fil de 0,9 mm. de diamètre enroulé par couches régulières; le diamètre extérieur de la bobine était de 9 centimètres. Ces bobines plates furent suspendues verticalement en face l'une de l'autre par des rubans de soie. On avait fixé aux bobines des fétus de paille qui pendaient comme les feuilles d'or d'un électroscope. Au moyen de connexions flexibles, le courant primaire pouvait être lancé à travers ces bobines disposées de façon à se repousser réciproquement. Le poids des bobines était tel que le courant d'excitation normal du transformateur ne donnait qu'une répulsion à peine visible. En fermant et ouvrant le circuit primaire un grand nombre de fois, les bobines furent dans diverses occasions brusquement repoussées, de sorte que les pailles longues de 20 centimètres s'écartaient comme les feuilles d'un électroscope quand on en approche une tige de verre électrisée; l'écart entre les extrémités des pailles était quelquefois d'environ 15 centimètres.

Expérience 5. — Chaque fois que le phéno-

mène en question se produisait, on entendait dans le transformateur un coup violent. M. Partridge nous suggéra de nous servir d'une tige en bois appliquée contre le transformateur pour écouter les sons intérieurs. Nous avons construit un stéthoscope consistant en une tige de sapin avec une pièce d'ébonite à une extrémité et un disque de sapin à l'autre. En appuyant l'ébonite contre le noyau du transformateur et en approchant l'oreille du disque de bois, on pouvait étudier les bruits à l'intérieur du transformateur. Chaque fois que l'on constatait dans le circuit un afflux soudain de courant, on entendait aussi dans le transformateur un bruit violent.

En examinant les choses soigneusement, il nous parut certain que ce sont les conditions dans lesquelles se trouve le transformateur au moment de la rupture du circuit qui déterminent les divers phénomènes à la fermeture subséquente du circuit. Quand on ouvre la clef, l'aimantation alternative du noyau continue tant que dure l'arc de rupture; mais, à un moment donné, cet arc est rompu brusquement, et le courant primaire cesse. Le transformateur reste donc aimanté dans une phase particulière, soit fortement aimanté dans un sens ou dans l'autre, soit non aimanté, selon la phase du courant au moment de son extinction. Il est donc clair qu'en rétablissant le courant, la clef est fermée à une phase particulière de la tension, et que par suite le courant trouve le transformateur dans une certaine condition magnétique. Il peut se faire que l'aimantation résiduelle du fer ait une direction telle que le courant puisse produire instantanément la force contre-électromotrice nécessaire pour l'empêcher de dépasser sa valeur normale; mais il peut arriver aussi que l'aimantation du noyau ait un sens tel que la première variation de l'aimantation, avant l'établissement de la force contre-électromotrice, renforce le courant.

En d'autres termes, la self-induction du transformateur n'existe pas au premier moment, et jusqu'à ce que le courant ait ramené le noyau à l'aimantation voulue, synchronique avec lui, la bobine primaire ne présente pas assez d'inductance pour empêcher que la force électromotrice appliquée ne produise un courant limité seulement par la résistance ohmique.

Expérience 6. — On a voulu examiner si l'augmentation du courant était accompagnée d'une augmentation de la différence de potentiel aux bornes du primaire. La bobine d'induction et le tube à air raréfié employés dans l'expérience 1 ont donc été disposés de façon que le circuit primaire de la bobine d'induction fût placé en série avec une résistance non inductive, parallèle avec le primaire du transformateur. Dans le cas d'une élévation de la tension primaire, on s'attendait à voir briller le tube à air raréfié; mais l'expérience ne donna aucun résultat de ce genre.

Expérience 7. — La méthode suivante a ensuite été essayée : Deux boules de laiton, d'environ 1 centimètre de diamètre, portées par des vis horizontales ayant un pas d'un millimètre, passaient à travers des écrous fixés sur un support isolant. L'une de ces vis avait une large tête en ébonite, divisée. Ce déflagrateur fut placé en série avec un plomb fusible entre les conducteurs primaires, en parallèle avec le transformateur. Les boules furent ensuite mises en contact, puis écartées d'une longueur telle que la tension de 2400 volts pouvait juste produire une étincelle à travers cet intervalle. Cette distance explosive fut trouvée être d'environ trois quarts de millimètre. On écartait les boules un peu plus afin d'empêcher toute décharge à la tension normale. En fermant et ouvrant un grand nombre de fois le circuit primaire, il arriva plusieurs fois qu'une étincelle sautait d'une boule à l'autre, montrant ainsi que la tension avait augmenté. La plus forte distance que pouvait franchir l'étincelle était de 0,84 millimètre. D'autres expériences nous ont montré que pour cette distance explosive la tension devait être d'environ 4000 volts.

Expérience 8. — Nous avons voulu nous assurer de la nature de cet afflux de courant, savoir s'il était continu, c'est-à-dire toujours dans le même sens, ou s'il était, au contraire, alternatif, c'est-à-dire une simple augmentation de l'intensité conservant les alternativités normales. Pour étudier ce point, les bobines plates de l'expérience 4 furent disposées de façon que l'une était traversée par le courant primaire du transformateur, l'autre par le courant continu d'une batterie d'accumulateurs. Si la première impulsion du courant était toujours dans le même sens, il devait y avoir répulsion entre les deux bobines; mais on n'a pu observer de répulsion dans aucune circonstance.

Il semble donc probable que le phénomène est dû simplement à ce que les premières intensités du courant primaire sont très considérables, jusqu'au moment où la force contre-électromotrice voulue est établie.

Expérience 9. — Il était important de rechercher les moyens d'empêcher cet effet de se produire. Il peut être entièrement détruit en intercalant, au moment de la fermeture du circuit, une résistance additionnelle.

Une meilleure méthode a toutefois été indiquée par M. Reginald Brougham. Elle consiste à enrouler sur le transformateur un petit circuit tertiaire. Ce circuit prend le courant d'un petit transformateur auxiliaire en communication permanente avec le circuit principal, et qui aimante le noyau du transformateur de façon à produire instantanément la force contre-électromotrice nécessaire au moment de la fermeture du primaire. Dans ces conditions, l'établissement du courant n'est jamais accompagné d'un afflux brusque.

Lorsque plusieurs transformateurs sont alimentés par un même circuit primaire, et que leurs secondaires débitent tous sur le même circuit, on peut, pour éviter tout danger d'augmentation du courant, intercaler de nouveaux transformateurs de la manière suivante :

On fait d'abord les connexions sur le circuit secondaire, ensuite seulement on ferme le primaire ; dans ces conditions, la tension n'augmente jamais d'une façon dangereuse, le noyau se trouvant aimanté par le courant secondaire.

Expérience 10. — Plusieurs expériences ont été faites pour déterminer la résistance minima nécessaire pour empêcher ce renforcement brusque du courant. Il est évident qu'un commutateur qui ferme le circuit primaire en introduisant d'abord une résistance, puis en l'enlevant graduellement, sera suffisant pour empêcher cet effet.

Expérience 11. — Beaucoup d'effets dus à des causes similaires peuvent être produits dans des transformateurs à circuit magnétique ouvert. En coupant le circuit d'un transformateur « hérisson » à secondaire ouvert, on observe la formation d'un arc très énergique au commutateur; et plus le circuit magnétique est court, plus cet effet est prononcé. En particulier, on peut donner comme exemple un transformateur de ce genre dont le noyau de fer était très court par rapport à sa longueur. Ce transformateur avait une propriété très remarquable, c'est que, après avoir été mis en relation avec le circuit principal, on ne pouvait plus l'en disjoindre sans produire un arc immense au commutateur.

Voici quelle semble être l'explication de ce fait. Dans le transformateur à circuit magnétique ouvert, surtout si le fer est très court, la valeur moyenne de la variation de flux ou de la force contre-électromotrice décroît beaucoup plus rapidement avec le courant que dans les transformateurs à circuit magnétique fermé. Donc, quand on ouvre le circuit, la réduction immédiate du courant primaire fait tomber énormément la force contre-électromotrice, et la force électromotrice résultante du circuit augmente donc considérablement. Un arc suit conséquemment les pièces de contact du commutateur jusqu'à une distance considérable.

Dans le cas d'un transformateur à circuit magnétique fermé, cela n'a pas lieu, parce que la force contre-électromotrice ne tombe pas aussi rapidement.

On peut éviter la formation de l'arc en fermant le circuit secondaire, qui agit alors par induction mutuelle pour soutenir la force contre-électromotrice dans le primaire.

Différents effets de ce genre peuvent aussi être observés lors de la mise en et hors circuit de grands condensateurs. On court toujours le risque de détériorer ces appareils, et cela semble dû aux propriétés particulières de l'arc à courants alternatifs entre surfaces métalliques qui agit comme une résistance de forte self-induction.

Conclusion.

Comme conséquence des observations faites au cours de ces recherches, il y aurait différents sujets à discuter si la place le permettait. Il est certain, par exemple, que le dernier mot n'est pas dit au sujet de la construction des transformateurs. J'espère qu'avant peu les constructeurs pourront produire des transformateurs de 25 chevaux et au-dessus avec 90 o/o de rendement au dixième de leur puissance maxima. Quand on en sera arrivé là, il sera intéressant de reprendre quelques-uns des calculs faits relativement au coût de la distribution selon la nature du diagramme de consommation. On peut effectuer

ces calculs avec quelque chance d'exactitude maintenant qu'il semble prouvé que la perte dans le fer des transformateurs est constante à toutes les charges, et qu'il existe une relation définie entre cette perte et le courant d'excitation ou le courant primaire à circuit secondaire ouvert. Il n'est guère possible de considérer comme terminé le conflit entre le circuit magnétique fermé et le circuit ouvert, mais il n'y a aucune raison pour penser que la plupart des constructeurs de transformateurs à circuit magnétique fermé se soient entièrement trompés dans leur manière de voir.

L'expérience gagnée dans les essais qui viennent d'être décrits indique que le dynamomètre wattmètre est peut-être le meilleur instrument d'atelier à employer dans ce genre de mesures, mais que ses propriétés doivent être strictement examinées avant d'accorder confiance aux résultats qu'il fournit.

En terminant, l'auteur tient à remercier les personnes qui ont collaboré aux très nombreuses expériences et observations auxquelles a donné lieu cette étude. C'est M. Shields, préparateur de l'auteur, qui a accompli la partie la plus lourde de la tâche.

Les mesures et les observations ont été dans tous les cas très soigneusement vérifiées et répétées, avec le désir d'arriver à des résultats dignes de toute confiance et utiles à tous ceux qu'occupent la construction et l'établissement des transformateurs. A. H.

VARIÉTÉS

LE DÉVELOPPEMENT DE L'ÉLECTRICITÉ [1]

I

A la fin de la quarantième année de ma carrière mise au service de l'électricité, il m'a semblé que je ne saurais mieux reconnaître l'honneur d'avoir été élu, pour la seconde fois, président de cette Institution qu'en passant en revue les progrès faits par les diverses branches de l'industrie électrique qui ont plus ou moins fait partie de mes occupations.

[1] Discours prononcé à l'*Institution of Electrical Engineers*. (Résumé).

Télégraphie.

Lorsqu'en 1852 je débutai dans ma carrière d'ingénieur au bureau de M. Edwin Clark, le télégraphe électrique était dans l'enfance : le système à aiguille de Cooke et de Wheatstone en Angleterre, le récepteur électromagnétique de Morse en Amérique, le sounder de Steinheil en Allemagne, et le sémaphore de Breguet en France luttaient pour l'existence contre l'adversité et l'ignorance. Ces appareils étaient de construction grossière, d'action lente et de fonctionnement peu sûr.

Le sémaphore a été relégué au musée d'antiquités, et le récepteur Morse se retire peu à peu dans le même asile. Le télégraphiste conservateur qui croit à la nécessité de l'enregistrement des messages est encore très répandu en Europe; mais il a disparu des États-Unis et d'Angleterre. L'oreille est plus apte que l'œil à déchiffrer les signaux instantanés qui transportent la parole.

La victoire reste, toutefois, à l'appareil automatique de Wheatstone et à l'admirable télégraphe imprimeur du professeur Hughes.

L'influence civilisatrice du télégraphe est due à son caractère cosmopolite : il unit toutes les nations par un même langage, et les relie entre elles pas les mêmes nerfs métalliques ; il a anéanti les doctrines chauvines et les préjugés nationaux.

L'instrument que nous avons développé en Angleterre est l'appareil automatique à grandes vitesses, basé sur la préparation des messages à l'emporte-pièce, imaginé par Alexandre Bain en 1848, et perfectionné dans ses détails mécaniques par M. A. Strœh, en 1866.

Peu à peu nous avons gagné du terrain : 75 mots par minute sont devenus 500; une vitesse possible de 130 mots par minute est devenue une vitesse courante de 600 mots par minute. Le travail en duplex automatique sur les câbles est possible, et des méthodes de travail ont été adoptées qui semblaient naguère chimériques et impossibles.

Cette année l'imprimeur Hughes a été monté en duplex entre Londres et le continent, problème dont la solution avait été cherchée jusqu'ici sans succès. Mentionnons aussi l'emploi de moteurs électriques remplaçant les poids

moteurs, et l'usage très étendu d'accumulateurs à la place des piles primaires.

Le remplacement du cuivre comme conducteur par le fer a eu une influence sensible sur l'accroissement de la vitesse de transmission. Ce résultat n'est pas seulement dû à la diminution de la résistance, mais aussi à l'absence de l'inertie électromagnétique dans un fil de cuivre. Tous nos principaux circuits télégraphiques sont maintenant construits en cuivre.

Le passage des télégraphes dans les mains de l'État a donné une impulsion extraordinaire aux dépêches de la presse. Ainsi, tandis qu'en 1871 on a transmis 21 701 968 mots, on en a transmis 600 409 000 en 1891, soit une moyenne de près de 2 000 000 de mots par jour. Ce genre d'affaires n'est pas exclusivement limité au service du Post-Office. L'*Exchange Telegraph Company*, qui a commencé ses opérations en 1872, possède à Londres plus de 800 appareils en service, dont 120 dans les bureaux de presse, et distribue en moyenne par jour 3 381 134 mots. Les dépêches financières, par exemple, sont transmises par des instruments à roues de types contenant les chiffres et les fractions les plus usités dans le langage financier. Le modèle le plus récent de ces instruments imprime 40 mots par minute.

On peut se faire une idée du développement pris par la télégraphie en consultant le tableau ci-dessous donnant le nombre total des dépêches transmises par an.

1852	211 137
1869	6 830 000

Le transfert à l'Etat eut lieu en 1870.

1882	31 345 861
1892	70 215 439

Télégraphie sous-marine.

En 1852, le seul câble en service était celui qui avait été posé entre Douvres et Calais par la *Submarine Telegraph Company*. Le développement qu'a pris depuis le réseau des câbles sous-marins du globe est extraordinaire. De 87 milles marins en 1852, il atteint maintenant une longueur totale de 139 584 milles, soit 259 000 kilomètres, dont 26 800 appartiennent à divers gouvernements.

Le Post-Office Britannique est propriétaire des câbles qui le relient à la Hollande et d'un câble allemand, tandis que les câbles qui vont en Belgique et en France sont propriété commune, mais l'entretien en est confié au Post-Office.

La plus grande compagnie de câbles sous-marins est l'*Eastern Telegraph Company*, dont le réseau de 47 000 kilomètres s'étend de Cornwall à Bombay, relie les côtes de la Méditerranée avec Malte et réunit les autres îles méditerranéennes et l'Orient. Cet énorme réseau s'est développé dans les vingt-trois dernières années.

Pratiquement, la forme du câble n'a pas été modifiée depuis la pose du premier câble entre Calais et Douvres en 1851. Le diélectrique du premier câble était la gutta-percha, qui est encore aujourd'hui exclusivement employée, mais la fabrication a été améliorée dans ces vingt dernières années au point que la résistance d'isolement, qui était au début d'environ 250 mégohms par mille, est aujourd'hui de 2000 mégohms pour la même longueur. On tend à essayer le caoutchouc par suite du prix élevé et de la rareté de la gutta-percha.

Outre les grandes marées et les aspérités du fond, les plus grands ennemis des câbles sous-marins sont les différentes variétés de tarets, très répandues sous les tropiques; mais on peut empêcher les déprédations de cet insecte en recouvrant l'âme de gutta-percha d'un mince ruban de laiton enroulé en spirale. Un fait curieux est que cet insecte, inconnu en Angleterre il y a une vingtaine d'années, envahit maintenant toutes les côtes.

Avec les câbles s'est développée la flotte des navires télégraphiques. En 1853, le *Monarch*, appartenant à l'*Electric Telegraph Company*, était le seul vaisseau spécialement affecté à la réparation des câbles; actuellement la flotte télégraphique ne compte pas moins de trente-sept bâtiments, dont sept appartiennent aux gouvernements, les autres à diverses compagnies privées, parmi lesquelles l'*Eastern Telegraph Company* tient la tête de la liste avec cinq vaisseaux.

La durée des câbles sous-marins est remarquable. En 1859, les câbles légers posés en 1853 entre Orfordness et la Hollande furent remplacés, quelques milles des anciens câbles furent immergés à nouveau par une autre compagnie.

Retirés de la mer en 1885, ils y furent replongés en 1886, entre Uist et Harris, dans les Hébrides, et aujourd'hui ils sont encore en aussi bon état qu'au premier jour. Le câble posé entre Beachy Head et Dieppe, en 1861, fonctionne encore; celui qui relie Beachy Head au Havre depuis 1870 vient de subir une avarie pour la première fois.

Malgré l'extension rapide du réseau sous-marin il reste toujours beaucoup à faire. L'Océan Pacifique n'a pas encore été franchi, mais on étudie le projet de relier l'Amérique du Nord aux colonies australiennes.

Parafoudres.

Depuis Franklin, les méthodes de protection contre la foudre n'ont pas été beaucoup modifiées. Il n'existe pas de meilleur appareil que le paratonnerre; si quelquefois il ne remplit pas son rôle, il faut en faire remonter la cause à la négligence de l'homme, conséquence de la rareté du danger.

Une inspection périodique et systématique des paratonnerres est le seul moyen d'éviter qu'ils puissent se trouver en défaut au moment du péril. En 1892, on n'a pas eu à enregistrer un seul accident sur tout le réseau télégraphique de l'Angleterre.

Le professeur Oliver Lodge a cherché à modifier notre façon de voir relativement à la nature des décharges atmosphériques et à la forme qu'il conviendrait de donner aux parafoudres; mais ses efforts n'ont pas rencontré grande faveur parmi le public.

Signaux de chemins de fer.

En 1851, M. Edwin Clark imagina ce que l'on peut considérer comme l'embryon du block-système; il se servit d'un télégraphe à double aiguille; une de mes premières tâches fut de compléter ce système et de l'appliquer.

Aujourd'hui le block-système a été rendu obligatoire pour toutes les voies ferrées anglaises, en vertu d'un acte du Parlement; cette industrie dont les débuts furent si laborieux, contrôle maintenant le trafic de plus de 45 000 kilomètres de lignes. Il est le grand facteur de sécurité; sans son emploi il serait impossible de suffire aux exigences du trafic actuel.

Téléphonie.

J'eus la bonne fortune d'apporter en Angleterre, en 1877, la première paire de téléphones; elle m'avait été donnée à New-York par Graham Bell. Après une série d'expériences, je les présentai à la réunion de Plymouth, de l'Association britannique. Qui aurait pu s'imaginer à cette époque que ces instruments deviendraient dans l'espace de seize ans une nécessité de la vie commerciale et même domestique? Pourtant on peut évaluer à un million le nombre de téléphones actuellement en usage!

L'invention du transmetteur à charbon d'Edison et du microphone de Hughes fit du téléphone un instrument pratique. On peut dire que celui-ci a été parfait dès l'origine; et le peu d'importance des perfectionnements apportés au récepteur Bell et au microphone Hughes est non moins étonnant que le grand nombre d'essais infructueux faits pour arriver à un perfectionnement.

C'est sur ce terrain de la téléphonie que j'ai beaucoup travaillé, et l'application de la loi dite du produit « CR » a beaucoup servi dans les problèmes de la téléphonie à grande distance. Cette loi implique que le nombre de signaux qui peuvent être transmis par seconde à travers un circuit quelconque dépend uniquement de la capacité C et de la résistance R de ce circuit.

La mode est en ce moment de nier l'exactitude de cette loi. Cela est probablement un résultat de l'ignorance de sa signification ou de son interprétation. C'est pourtant une loi qui a déterminé les dimensions des longs câbles sous-marins, et la vitesse de transmission; elle détermine le nombre de bras que peut comporter le système multiplex, la vitesse qu'il est possible d'atteindre avec le système Wheatstone, et la distance à laquelle on peut transmettre en quadruplex; c'est une loi qui nous a permis de rapprocher Paris de Londres, et qui permettra probablement avant la fin de cette année de communiquer téléphoniquement de Dublin et Belfast à Londres.

La ligne de New-York à Chicago a 1 500 kilomètres de longueur, elle est en fil de cuivre de 4 millimètres de diamètre. D'après M. Wetzler, ce fil aurait une capacité de 0,0158 microfarad par mille, ou de 0,0098 microfarad par kilomètre.

C'est un nombre que j'ai rencontré sur une ancienne ligne anglaise, et il faut remarquer que par suite de l'emploi de fils de terre la capacité des lignes anglaises est beaucoup plus grande que celle des lignes américaines. Le circuit Paris-Londres n'a pas plus de 0,003 microfarad par kilomètre. J'estimerai à 0,0025 microfarad par kilomètre la capacité du circuit de Chicago, et le produit C R serait de 7500, ce qui expliquerait le bon fonctionnement.

Toutefois, mes collègues américains auraient dû employer un plus gros fil. J'aurais prescrit un fil de 170 kilogrammes par kilomètre (près de 5 millimètres de diamètre); en Angleterre, j'aurais même conseillé un fil encore plus gros, car il est impossible de construire les longues lignes entièrement aériennes. En fait, j'ai proposé un fil de 7 millimètres pour un circuit entre Londres et Berlin, de 1220 kilomètres de longueur, dont 89 kilomètres de câble.

L'effet avantageux de l'induction comme capacité négative s'observe quand on travaille avec des appareils automatiques à grande vitesse. Ainsi, sur deux fils de cuivre d'une longueur de 725 kilomètres, soit en tout 1450 kilomètres, la vitesse sur chaque fil simple était de 120 mots, et sur le circuit métallique complet de 150 mots par minute, soit un gain de 25 o/o dû à l'induction.

Il n'y a aucune difficulté à mesurer la résistance R d'une boucle métallique. Le pont de Wheastone permet de la déterminer très facilement. Il est plus difficile d'obtenir C, qui ne peut être mesuré directement. Avec une boucle de fil de cuivre, en partie aérienne et en partie souterraine, il convient de faire quelques modifications, dues à l'induction électrostatique et électromagnétique, qui ne sont pas encore accessibles aux formules, et qui rendent difficile la détermination de la capacité, excepté approximativement par les effets téléphoniques mêmes. Ainsi, la capacité du circuit Paris-Londres n'était que la moitié de celle obtenue par le calcul, et chaque long circuit exigera que sa capacité soit déterminée par comparaison avec une échelle CR empirique. J'ai déterminé cette échelle par des expériences soigneuses sur des câbles artificiels.

Récemment, j'ai établi une nouvelle forme de câble qui permettra probablement de quadrupler la vitesse du service télégraphique avec l'Amérique; et je puis dire en toute confiance qu'aucune raison théorique ne s'oppose à ce que l'on puisse converser entre Londres et toutes les capitales de l'Europe; parler à travers l'Atlantique n'est même pas impossible.

Applications domestiques.

L'ère des applications domestiques de l'électricité a été ouverte en 1850, lorsque Hipp, de Neufchâtel, installa à la Chambre des députés de Berne, un système de sonneries électriques. Le système fut popularisé en France par Breguet. Aujourd'hui cette branche de l'industrie électrique est très florissante.

Il n'y a aucun doute que le grand succès des sonneries électriques est principalement dû à l'introduction de la pile Leclanché, en 1866. La perpétuelle attention qu'il fallait donner aux piles Marié-Davy, Daniell et autres eût été fatale aux applications domestiques de l'électricité.

Les avertisseurs d'incendie et d'effraction n'ont qu'un succès partiel, étant rarement appelés à servir, et ayant de plus la mauvaise coutume de refuser le service juste au moment où l'on en aurait besoin.

L'horlogerie électrique a été un sujet d'étude favori des inventeurs; une énumération des brevets pris pour des horloges électriques donnerait une liste très longue; elle représenterait beaucoup d'ingéniosité mais peu d'utilité.

Les ascenseurs électriques combinés par Siemens, Hopkinson, Crompton, etc., sont assez peu employés. Une des causes en est, sans doute, l'absence d'un bon moteur à courants alternatifs démarrant sous charge; le prix de l'énergie électrique est encore trop élevé.

La ventilation se fait beaucoup par des moteurs électriques, dont la petitesse et le maniement aisé sont très appréciés.

Les appareils de chauffage et de cuisine alimentés par l'électricité, tout en excitant la curiosité du public, n'ont pas encore sa faveur. La question est plutôt d'ordre commercial, le public n'ayant pas été éduqué jusqu'au point de payer cher pour un « bifteck à la française » cuit d'après les principes scientifiques les plus élevés.

W.-H. Preece.

(A suivre.)

FAITS DIVERS

La production de la force motrice par la combustion de la houille à sa sortie du puits de mine et la transmission électrique de l'énergie ainsi obtenue aux centres manufacturiers font l'objet d'un vaste projet étudié par M. Thwaite, en collaboration avec M. Swinburne.

Dans l'esprit des auteurs des villes entières seraient ainsi pourvues de la force motrice nécessaire à leurs industries; dans un district manufacturier toutes les fabriques seraient branchées sur les câbles de distribution d'un même réseau. Il en résulterait, pour les usiniers, de nombreux avantages. Sans parler de la commodité, des moindres frais de surveillance, d'entretien et autres, nous dirons qu'avec une alimentation en force motrice ainsi comprise, chaque usine pourrait faire varier à volonté la puissance, sans recourir à des machines auxiliaires. De plus, l'irrégularité du travail dans certaines industries, irrégularité qui ne permet pas de tirer de la machine à vapeur le meilleur rendement, n'aurait dans le cas que nous examinons aucun inconvénient au point de vue écomique; l'énergie utilisée serait toujours au même prix.

M. Thwaite propose d'extraire d'abord du charbon tous les produits secondaires utilisables, et de se servir, pour la génération de la force motrice, du gaz. On emploierait donc des moteurs à gaz, et la puissance serait distribuée sous forme de courants alternatifs de haute tension.

D'après le devis établis par les auteurs pour une transmission électrique de 10000 chevaux à Londres, la force motrice serait produite par trente-six moteurs à gaz, qui actionnerait dix-huit machines à courants alternatifs. Celles-ci donneraient 1000 ampères sous 500 volts. Plusieurs grands transformateurs élèveraient la tension à 30000 volts. La station réceptrice serait placée au nord de Londres, elle ne contiendrait que les transformateurs abaissant la tension à 2000 volts, et dans certains cas à 5000. Le coût total de l'installation pour 10000 chevaux est estimé à 6 000 000 de francs environ.

En supposant les plus mauvaises conditions d'exploitation, une consommation irrégulière, etc., on arrive à pouvoir fournir le kilowatt-heure à 13,5 centimes, tandis que les compagnies de Londres le vendent à 70 ou 80 centimes. La force motrice pourrait être distribuée à raison de 6,5 centimes le cheval-heure.

On ne s'est pas contenté de ce projet unique, des devis ont été demandés à plusieurs grandes maisons d'installation. La maison Brown, Boveri et C°, de Bade (Suisse), propose les dispositions suivantes :

Les générateurs d'énergie seraient vingt moteurs à gaz Otto donnant 500 à 600 chevaux chacun. Ils actionneraient vingt alternateurs, pourvus de transformateurs pour élever la tension à 20000 volts. Les inducteurs de ces machines seraient excités par deux machines séparées.

La canalisation comporterait 200 kilomètres de câbles de 300 millimètres carrés de section. La chute de potentiel y serait de 20 o/o. Chacun de ces câbles serait séparé en huit fils posés sur poteaux.

Le coût total de l'installation est évalué à 6 millions de francs, et sans les câbles à 1320000 francs. Le rendement total du système serait de 70 o/o. M. C. Brown estime que dans ces conditions le cheval-vapeur pourrait revenir aux petits consommateurs à 112 francs par an.

Les parties principales du projet établi, d'autre part, par les ateliers de construction d'Œrlikon sont les suivantes :

Cinq machines à courants triphasés produiraient une puissance totale de 10000 chevaux, que l'on transmettrait à 200 kilomètres de distance, soit avec 20 o/o, soit avec 30 o/o de perte.

Dans le premier cas, en employant une tension de 20000 volts, il faudrait trois conducteurs de 360 millimètres carrés de section; dans le second cas, pour une perte de 30 o/o, trois conducteurs de 240 millimètres carrés de section.

L'appareillage général serait celui qui a été utilisé pour la transmission Lauffen-Francfort.

Le coût d'installation est évalué par les ateliers d'Œrlikon, à 8 375 000 francs.

Les capitaux nécessaires à l'exécution de l'un quelconque de ces projets sont considérables, mais il y a tout lieu de croire que l'entreprise projetée par M. Thwaite est susceptible de donner une exploitation rémunératrice.

Un exemple, en miniature, d'une installation basée sur les principes dont il vient d'être question est donné par l'*Elehtrotechnische Zeitschrift*. Dans une mine près de Cologne on a installé une machine à vapeur de la puissance de 40 chevaux. La chaudière est chauffée avec le charbon très pauvre de cette mine.

Un alternateur à douze pôles auto-excitateur, commandé par cette machine, fournit 72 volts et 350 ampères. Le voltage est maintenu constant par un régulateur automatique; des transformateurs élèvent cette tension à 2000 volts.

L'énergie électrique est transmise par 2 kilomètres de conducteurs aériens à la localité de Frechen, où des câbles concentriques la distribuent aux consommateurs.

Le prix de vente de l'énergie est de 62,5 centimes le kilowatt-heure.

Ayant à examiner la création d'une usine d'électricité pour la ville de Stuttgart, M. O. von Miller a fait remarquer que dans les conditions actuelles l'éclairage électrique serait un luxe pour cette ville, mais qu'il était nécessaire d'établir une station pour la distribution de la force motrice.

Cette manière de procéder est des plus logiques. Si l'on s'assure avant tout des abonnés pour la force motrice, on peut compter qu'en ajoutant plus tard l'éclairage électri-

que, l'usine fonctionnera dans les meilleures conditions d'exploitation ; tandis que la tactique qui consiste à débuter avec l'éclairage dans l'intention d'ajouter plus tard la distribution de force motrice ne donne pas toujours les résultats attendus.

On est généralement d'avis que le chauffage électrique n'est rien moins qu'industriel. Dans certaines applications il semble pourtant pouvoir rendre des services. Le propriétaire d'une grande lingerie de Lauter, en Allemagne, l'a appliqué dans son établissement au chauffage d'une soixantaine de fers à repasser.

Une dynamo de 40 chevaux fournit le courant à ces fers, aux lampes à incandescence, aux moteurs des turbines, des lessiveuses, des calandres, etc. Chaque repasseuse peut arrêter et rétablir le courant à volonté.

Le noyau de fers à repasser est formé d'une semelle d'amiante entourée de fil de platine rendu incandescent par le courant. L'avantage c'est qu'on ne dépense pas de combustible pour les fers hors service.

La maison Siemens et Halske a demandé la concession d'un tramway aérien à traction électrique qu'il s'agirait d'établir à Budapest.

La même maison commencera prochainement la contruction du tramway électrique de Bucharest, qui devra être terminée en deux mois.

M. Becquerel, membre de l'Institut, professeur de physique appliquée au Muséum d'histoire naturelle, a ouvert ce cours le 20 février 1893, dans le grand amphithéâtre, et le continue les mercredis, vendredis et lundis.

A la section d'électricité de l'école polytechnique de Darmstadt, en Bade, auront lieu en 1893 des conférences et des travaux pratiques sur les sujets suivants :

Transmission électrique de l'énergie, cours et travaux pratiques; professeur Kittler.

Tramways électriques; ingénieur Friese.

Electrochimie, cours et travaux pratiques; professeur Dieffenbach.

« Une importante découverte vient d'être faite par M. Darlet, agrégé au lycée de Roanne.

« Ce professeur a trouvé une pile impolarisable et susceptible de produire, directement et sans accumulateurs, l'éclairage électrique à domicile.

« Les expériences ont été faites à Lyon, le jeudi 1er décembre dans les ateliers du P.-L.-M., en présence des ingénieurs les plus compétents en cette matière.

« Elles ont été concluantes et ont démontré qu'il était désormais permis d'éclairer brillamment et à peu de frais les chambres d'ouvriers et les plus humbles chaumières, comme les grandes usines et les riches habitations.

« M. Darlet a déjà pris ses brevets pour la France et l'étranger. »

Nous ne demanderions pas mieux que de prendre au sérieux le confrère qui donne cette grave nouvelle sous le titre significatif : « L'Electricité sans accumulateurs » ; mais ce petit entre-filet ressemble tant à la formule de prospectus recommandée pour le lancement d'une pile, que nous sommes obligés de rester sceptiques en face de cette invention merveilleuse.

De même que les partisans de la Compagnie Westinghouse contestent à Edison la priorité de l'invention de la lampe à incandescence, et ont fini par déterrer une lampe faite vers 1850, de même le parti adverse vient de trouver un précurseur de la lampe détachable de Westinghouse. Il paraît que celle-ci a été brevetée sous la même forme par M. H. Maxim en 1881. Pour le consommateur ces discussions ne présentent qu'un intérêt relatif ; il est temps que les brevets principaux expirent, ce qui permettra de mettre la lampe à incandescence à vingt-cinq sous.

Les journaux nous apprennent que l'on vient d'inaugurer à Budapest le journal parlé à domicile moyennant 3,70 francs par mois. Les abonnés, reliés par un fil téléphonique au bureau de la rédaction du journal, reçoivent d'heure en heure et à mesure qu'elles parviennent, toutes les nouvelles politiques, locales, commerciales, etc. C'est le comble de la rapidité dans l'information. Quand les nouvelles chôment on lit aux clients une colonne du feuilleton en cours. On n'aura plus besoin de savoir lire pour être au courant de tout ; l'inconvénient, c'est que, pour ne laisser échapper les nouvelles importantes, il ne faut plus lâcher son téléphone ni de jour ni de nuit.

Le bureau du journal comprend deux services distincts : celui de la rédaction où l'on choisit les nouvelles à téléphoner, où l'on rédige les articles, et le bureau de l'expédition, dans lequel un personnage, doué d'une élocution bien nette ne cesse de confier à la tablette du microphone les travaux des divers rédacteurs. Un faisceau de fils partant de ce poste unique, disperse cette prose dans toute la ville. Si cela prend, les imprimeurs, les fabricants de papier vont être obligés de revenir à l'impression des œuvres sérieuses.

Nos confrères américains annoncent que M. E. Thomson a réussi à améliorer son grand appareil qui lui permettait d'obtenir des étincelles de 75 centimètres de longueur et que nous avons décrit il y a quelques mois. Dans le nouvel appareil la longueur des étincelles attein-

drait 1,60 mètre. Ces expériences sont faites à une échelle assez grande pour pouvoir donner lieu à d'intéressantes observations.

D'autre part, on dit que le même électricien aurait trouvé un procédé purement électrique pour produire des courants à une fréquence aussi élevée qu'on le veut. Ce serait une invention de la plus grande portée, mais la nouvelle mérite confirmation.

Il existait en 1888, en Russie, 21 usines à extraction de cuivre, dont la production totale était de 5000 tonnes. Dans l'Oural, il y a deux usines de quelque importance; dans le Caucase, sur dix usines, deux seulement sont importantes. L'une de celles-ci, l'usine de Kalakent, a été créée pour l'extraction du cuivre par l'électrolyse à l'aide d'une force motrice hydraulique; elle n'a produit en 1890 que 81 tonnes. Les résultats très médiocres donnés jusqu'ici par les mines à cuivre du Caucase, malgré la richesse des gîtes, s'explique, d'après M. Weiss, ingénieur des mines, par la nécessité d'entreprendre la fabrication avec des capitaux considérables dont une partie doit être employée à créer des voies de communication.

Dans une communication à la Société de physique de Londres, M. Croft décrit ses expériences sur les images latentes apparaissant sous l'action de l'haleine.

Le phénomène fut observé il y a cinquante ans par Karsten qui, ayant placé une pièce de monnaie sur une plaque de verre, obtint sur celle-ci par l'action de l'électricité une image devenant apparente sous l'action de l'haleine.

Après beaucoup d'essais la méthode que M. Croft a trouvée la meilleure est la suivante : une plaque de verre de forme carrée, de 15 centimètres de côté, est placée sur la table pour servir d'isolant; puis au milieu de cette plaque on superpose d'abord la pièce dont on veut l'image et que relie au bord de la plaque une bande d'étain, ensuite la plaque de verre destinée à recevoir l'image, et enfin une seconde pièce. Il est essentiel que le verre soit poli, d'une propreté irréprochable, et bien sec. La bande d'étain et la pièce supérieure sont reliées aux pôles d'une machine Winshurst donnant des étincelles de 75 à 100 millimètres, et que l'on tourne durant deux minutes de manière à obtenir des étincelles de 25 millimètres aux pôles de la machine.

L'opération terminée, on ne constate aucun changement sur la plaque de verre, ni à l'œil nu ni au microscope; mais si l'on dirige l'haleine sur l'une ou l'autre face une figure apparaît reproduisant le côté de la pièce qui y était appliqué. L'humidité se dépose sur toute la surface, mais le degré de finesse de la granulation aqueuse augmente à mesure que la partie correspondante de l'image devient plus noire.

Si les plaques sont protégées avec soin l'image peut être reproduite des années après. Un fait curieux est que certaines images ne se produisent qu'après quelques semaines ou même quelques mois.

Toutes les surfaces polies paraissent pouvoir recevoir une impression analogue; le quartz par exemple donne les images les plus parfaites.

Ces images peuvent d'ailleurs être produites autrement que par des procédés électriques. M. Croft fait, par exemple, l'expérience suivante : Un papier imprimé sur un seul côté, placé entre deux plaques de verre durant dix heures, soit à la lumière du jour, soit dans l'obscurité, donne une reproduction latente parfaite de l'impression, sur les deux plaques de verre.

D'après M. Croft les figures dues à l'électrisation semblent montrer un bombardement qui produirait un changement moléculaire.

Le développement des tramways électriques nécessite, pour les électriciens, la connaissance de tous les calculs relatifs à la traction. Les relations entre la rampe, la vitesse et l'effort de traction peuvent être représentées graphiquement sous forme d'abaque. Nous signalerons, à ce propos, le travail de M. Beghin, paru dans les *Annales des ponts et chaussées*.

Il résulte de cette étude que si les vitesses extrêmes entre lesquelles on applique les formules ne sont pas très éloignées l'une de l'autre, l'équation représentative est une ligne droite, l'abaque se composant de deux droites parallèles graduées, l'une proportionnellement aux rampes, l'autre aux inverses des tonnages des véhicules. Toute ligne tirée d'un point de ces droites à un point de l'autre coupera la ligne de l'équation en un point représentant la vitesse correspondante.

Nous avons donné, les premiers, une description détaillée du tramway électrique Madeleine-Saint-Denis, dans notre numéro du 6 février 1892. Le *Génie civil* vient également de décrire cette installation. A ce propos M. Andréani, directeur de la Société anonyme d'électricité, à Courbevoie, fait remarquer que le commutateur-coupleur employé sur la ligne Madeleine-Saint-Denis est construit par cette Société. Comme nous avions aussi omis de nommer cette société, nous enregistrons l'observation de M. Andréani.

La maison Schuckert a complété récemment la station centrale d'Aix-la-Chapelle. Cette installation peut alimenter 20 000 lampes de 8 bougies.

Elle comprend trois chaudières Cornish de 140 mètres carrés de surface de chauffe, fournies par la maison Piedbœuf, d'Aix-la-Chapelle.

Les machines à vapeur tournent à 120 tours par minute; ce sont des machines à triple expansion et à condensa-

tion de C. Kuhn, à Stuttgart; les dynamos sont du type Schuckert.

On a ajouté une batterie d'accumulateurs Tudor de 140 éléments, avec une capacité de 1610 ampères-heures, et capable de se décharger au régime maximum de 483 ampères.

Les bâtiments sont construits de façon à permettre une extension considérable de l'usine. Les câbles, fabriqués par MM. Felten et Guilleaume, ont une longueur totale d'environ 64 kilomètres; ils ont une double enveloppe de plomb et sont armés.

L'importance de l'électricité augmente tellement de jour en jour que les feuilles politiques comprennent la nécessité de mettre leurs lecteurs au courant de l'état actuel de cette science. Le *Temps* de Paris vient de consacrer à cet objet un excellent supplément de quatre pages. Le *Glasgow Herald* a employé un autre moyen moins coûteux, c'est de publier une série d'articles constituant un cours complet à l'usage des gens du monde.

Eclairage électrique.

La lumière produite par l'arc nu est trop éblouissante et donne des oppositions violentes d'ombre et de lumière. Les points de l'espace qui devraient être le mieux éclairés. c'est-à-dire les points situés immédiatement au-dessous du foyer, reçoivent moins de lumière à cause de l'ombre portée des supports, des cendriers et même des charbons.

On a remédié jusqu'ici à ces inconvénients en distribuant les arcs, dans les espaces à éclairer, de manière à croiser leurs directions d'intensité lumineuse maxima; mais cette solution oblige à employer, dans les espaces restreints, un nombre de foyers plus grand que le strict nécessaire.

Une autre solution consiste à employer des globes dépolis qui diffusent la lumière, mais qui en absorbent une grande partie; cette absorption varie, en effet, de 40 à 53 o/o, ainsi qu'il résulte d'expériences récentes, faites à Berlin, par M. Wedding, sur les globes dépolis dont sont munies les lampes à arc utilisées pour l'éclairage des rues. Il y a lieu, en outre, de remarquer que les globes opales absorbent d'autant plus de lumière qu'ils la diffusent mieux.

Dans le but d'éviter ces inconvénients, M. Frédureau a imaginé des globes qui se composent, d'après la *Revue scientifique*, d'enveloppes en verre ou en cristal transparent, munies sur leur surface extérieure d'anneaux prismatiques parallèles et perpendiculaires de l'axe du globe. Leur forme générale rappelle celle des anneaux catodioptriques des phares, mais la répartition de la lumière qu'ils produisent est bien différente. Les faces de ces anneaux sont de révolution autour d'un axe vertical et ont été calculées de manière à produire :

1° La concentration de la lumière vers la zone de l'espace situé au-dessous du foyer par réflexion des rayons du foyer lumneux intérieur sur la face supérieure transparente des anneaux;

2° La diffusion obtenue par les réflexions et réfractions diverses produites par l'action réciproque des anneaux les uns sur les autres.

Grâce à cette disposition le point lumineux est transformé, pour l'œil placé extérieurement, en un large faisceau dont la longueur est égale à celle du globe et que l'œil supporte très facilement. De plus, les rayons lumineux sont, d'une manière générale, réfléchis dans la zone inférieure de l'espace, sans dispersion, et l'on obtient ainsi un cône inférieur de lumière au lieu d'un cône d'ombre.

A l'Exposition de Chicago l'éclairage sera compté à raison de 40 francs par lampe de 16 bougies, depuis le 1er mai jusqu'au 31 octobre. La force motrice se paiera 200 francs par cheval pour la même période. Ceux qui n'ont besoin de force motrice que par intermittence paieront 20 centimes par cheval-heure.

Pour les moteurs électriques on comptera pour la durée de l'Exposition, outre une redevance fixe d'installation de 50 à 75 francs: pour 1/4 de cheval et moins, 100 francs; pour 1/4 à 1/2 cheval, 200 francs; pour 1/2 à 1 cheval, 375 francs; pour 1 à 2 chevaux, 350 francs par cheval; pour 2 à 3 chevaux, 300 francs par cheval; pour plus de 3 chevaux, 250 francs par cheval.

Le tarif maximum pour 1/4 de cheval met le cheval par an à 800 francs; le prix minimum de 250 francs par cheval met le cheval par an à 500 francs.

Télégraphie et Téléphonie.

La grande expérience de l'introduction du personnel féminin dans les bureaux de l'Administration des Postes et Télégraphes se continue, et paraît avoir donné des résultats satisfaisants. L'Administration n'admet pas de bureaux mixtes. Parmi ceux où la substitution a été pratiquée nous citerons la rue de la Fontaine-Saint-Georges et la rue La Fayette, près l'Opéra.

D'après un télégramme du président de la Société télégraphique africaine, sir J. Pender, la pose d'un câble entre Bonny et Cameroon vient d'être terminée. Ainsi se trouve réalisée la communication télégraphique de Cameroon avec l'Allemagne et les autres réseaux du monde.

Imprimeur-Gérant : V. Nory.

Imprimerie de La Lumière Électrique. — Paris
31, boulevard des Italiens.

La Lumière Électrique

Journal universel d'Électricité

31, Boulevard des Italiens, Paris

DIRECTEUR : Dr CORNÉLIUS HERZ

XVe ANNÉE (TOME XLVII) SAMEDI 25 MARS 1893 N° 12

SOMMAIRE. — La déformation des sinusoïdes dans les machines; Paul Boucherot. — La téléphonie à grande distance; Frank Géraldy. — Photométrie et photoptométrie; Charles Henry. — Étalon secondaire pour la photométrie des lampes à arc; F. Guilbert. — Sur quelques nouveaux fours électriques; A. Rigaut. — Chronique et revue de la presse industrielle : Ampèremètre Illig. — Coupe-circuit E. Thomson. — Ampèremètre enregistreur Weston. — Commutateur Goold. — La téléphonie à grande distance et la loi de Preece. — Revue des travaux récents en électricité : Société française de physique (séance du 17 mars 1893). — Société internationale des électriciens (séance du 1er mars 1893). — Société de physique de Londres (séance du 10 février 1893). — Sur les courants polyphasés, par P.-A. Winand. — Relation entre la force électromotrice voltaïque et la pression, par G. Gore. — Variétés : Le développement de l'électricité; W.-H. Preece. — Faits divers.

LA DÉFORMATION DES SINUSOÏDES

DANS LES MACHINES

On a coutume, dans tous les problèmes relatifs aux courants alternatifs, de ne considérer qu'un seul terme :

$$a \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi\right),$$

ce qui suppose les courants et les forces électromotrices parfaitement sinusoïdaux, quoique l'on sache qu'il n'en est pas rigoureusement ainsi.

On sait que la véritable forme d'une fonction périodique est donnée par la série de Fourier :

$$a \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi_1\right) + b \sin\left(\frac{4\pi t}{T} + \varphi_2\right) + c \sin\left(\frac{6\pi t}{T} + \varphi_3\right) + \ldots\ldots,$$

ou, en remplaçant $\frac{2\pi}{T}$ par ω, comme on a l'habitude de le faire :

$$a \sin(\omega t + \varphi_1) + b \sin(2\omega t + \varphi_2) + c \sin(3\omega t + \varphi_3) + \ldots\ldots,$$

En ne laissant subsister que le premier terme, on laisse entendre que les termes suivants ont été rendus négligeables dans la construction des appareils, ce qui pratiquement est presque toujours justifié.

Mais il importe de ne pas complètement oublier ces termes négligés et il doit en être de cela comme de certaines abréviations dans le langage scientifique, parfois utiles, mais qui ne doivent pas entraîner l'oubli des vérités fondamentales.

Le but de cette étude est de montrer quels sont les termes de la série de Fourier qui peuvent exister et comment varie leur importance quand on modifie les conditions de construction des appareils.

Elle expliquera ainsi certains résultats expérimentaux obtenus et non expliqués par différents auteurs en même temps que, comme toute étude analytique, elle permettra de prévoir de nouveaux phénomènes encore non réalisés.

Car c'est là l'incontestable supériorité de l'expérimentation secondée par l'analyse mathématique sur l'expérimentation pure et simple. La première prévoit et explique rapidement ce que la seconde ne trouve qu'après de longs et pénibles travaux. Nous en avons encore eu un exemple tout récemment à propos d'un moteur à courants alternatifs que l'on annonçait à grand fracas, et que deux de nos plus savants et sym-

pathiques ingénieurs ont montré, dans ce journal même, n'être qu'un cas particulier déjà prévu de leur théorie générale des moteurs à champ tournant.

Dans la représentation graphique de la série de Fourier tous les termes sont des sinusoïdes ; cependant la période de la série est déterminée par la période du premier terme, en sorte qu'il est légitime de considérer ce premier terme comme sinusoïde principale, et de ne considérer les autres que comme des facteurs déformant la sinusoïde principale, surtout lorsque les coefficients b, c, d... sont petits vis-à-vis du coefficient a, comme c'est presque toujours le cas. Ceci dit pour expliquer notre titre.

Les sinusoïdes représentatives des forces électromotrices ou des intensités peuvent être déformées soit dans les machines, soit dans les transformateurs. Nous ne nous occuperons aujourd'hui que de la déformation dans les machines.

Il y a dans les machines au moins quatre causes de déformation des sinusoïdes :

1° L'action mutuelle des inducteurs et de l'induit, qui ne détermine pas seulement le premier terme de la série de Fourier, mais une *infinité de termes ;*

2° La forme du coefficient d'induction mutuelle des inducteurs et de l'induit, qui peut ne pas être parfaitement sinusoïdale ;

3° La self-induction, qui est rarement constante et qui varie pendant une période avec la position relative de l'induit et des inducteurs ;

4° La variation de vitesse pendant une période qui n'est pas toujours négligeable, ainsi que l'a habilement montré M. Blondel.

Faire l'analyse de ces quatre causes de déformation prises ensemble serait pour ainsi dire impraticable. Aussi ne les envisagerons-nous que l'une après l'autre et indépendamment les unes des autres.

Dans l'analyse de chacune nous supposerons les autres n'existant pas. Aujourd'hui nous ne nous occuperons que de l'action mutuelle des inducteurs et de l'induit, et de l'influence de la forme du coefficient d'induction mutuelle, réservant à de prochains articles la déformation apportée par les deux autres causes bien moins importantes, ainsi que celle occasionnée par les transformateurs.

Action mutuelle des deux circuits.

On sait que lorsque l'induit d'un alternateur est à circuit ouvert, la force électromotrice développée par les inducteurs est à chaque instant

$$\frac{d\,(\mathrm{B\,S})}{d\,t}.$$

Si la vitesse est rigoureusement constante et la machine bien construite, B S peut être exprimé en fonction du temps par une sinusoïde parfaite, de sorte que la force électromotrice est une sinusoïde parfaite. Mais si l'on ferme le circuit de l'induit, il n'en est plus de même, car l'intensité produite à chaque instant a pour effet de modifier la valeur de B à chaque instant, ce qui déforme par conséquent la sinusoïde de la force électromotrice.

Le problème est pour ainsi dire impossible à traiter en se servant de cette formule classique

$$\mathrm{E} = \frac{d\,(\mathrm{B\,S})}{d\,t}\,;$$

sa complication est insurmontable, et il faut avoir recours à la considération des coefficients d'induction mutuelle variables.

Quoiqu'elle existât avant, c'est à MM. Hutin et Leblanc que l'on doit l'importation de cette méthode élégante dans la technique électrique, méthode sans laquelle, je le répète, il est à peu près impossible de traiter certains problèmes compliqués.

La force électromotrice induite par un courant I dans un circuit est alors

$$\frac{d\,(m\,\mathrm{I})}{d\,t},$$

m étant le coefficient d'induction mutuelle des deux circuits, ce qui peut encore s'écrire :

$$m\,\frac{d\,\mathrm{I}}{d\,t} + \mathrm{I}\,\frac{d\,m}{d\,t}.$$

Il importe ici de faire une distinction très nette et de classer les machines en deux espèces qui donnent des résultats très différents au point de vue spécial où nous nous plaçons : les machines à pôles alternés et les machines à pôles non alternés.

Les premières ont pour coefficient d'induction mutuelle $m \cos \omega\, t$, m étant la valeur de ce coefficient quand les bobines sont vis-à-vis des pôles.

Dans les secondes, au contraire, le coefficient d'induction mutuelle n'est jamais négatif, ne change pas de sens ; on pourrait même ajouter : n'est jamais nul, et doit être représenté par

$$m_0 + m \cos \omega t,$$

avec la condition $m_0 > m$.

Il est clair que si I est constant et m une sinusoïde parfaite, la force électromotrice est une sinusoïde parfaite, ce qui a lieu à circuit ouvert. Mais dès que le circuit de l'induit est fermé, I n'est plus constant, et l'action réciproque des deux circuits détermine une infinité de termes de la série de Fourier.

Nous allons démontrer qu'en supposant une vitesse rigoureusement constante, un coefficient d'induction mutuelle parfaitement sinusoïdal et des coefficients de self-induction constants dans les deux circuits : *dans une machine à pôles alternés l'induit est le siège d'une force électromotrice et d'un courant représentés par une infinité de termes* impairs *de la série de Fourier, et les inducteurs le siège d'une force électromotrice et d'un courant représentés par une infinité de termes* pairs *de la série de Fourier.*

Soit I_0 l'intensité du courant continu dans les inducteurs lorsque l'induit est à circuit ouvert ; $m \cos \omega t$ la valeur instantanée du coefficient d'induction mutuelle, c'est-à-dire m quand les bobines sont vis-à-vis des pôles.

La force électromotrice induite dans l'induit à circuit ouvert est donc :

$$-I \frac{dm}{dt} = I_0 m \omega \sin \omega t,$$

avec le signe changé volontairement ; car $I \frac{dm}{dt}$ serait la force contre-électromotrice, formule qui permet de déterminer m très simplement puisque

$$I_0 m \omega = E_{max}.$$

Nous allons fermer le circuit induit de manière que la totalité de l'induit ait une résistance R et une self-induction L, les inducteurs ayant une résistance ρ et une self-induction λ.

En appelant i l'intensité instantanée dans l'induit, et J l'intensité instantanée dans les inducteurs, les équations fondamentales seraient :

$$\rho I_0 = \rho J + \lambda \frac{dJ}{dt} + m \cos \omega t \frac{di}{dt} - i m \omega \sin \omega t,$$

$$0 = R i + L \frac{di}{dt} + m \cos \omega t \frac{dJ}{dt} - J m \omega \sin \omega t.$$

En remplaçant alors i et J par deux séries à coefficients inconnus, et en rassemblant les termes de même période, on devrait pouvoir résoudre. Malheureusement on arrive ainsi à une infinité d'équations comprenant une infinité d'inconnues, équations qu'il est impossible de séparer, même pour n'avoir que les deux ou trois premiers termes des séries.

Nous serons obligés d'opérer par approximations successives pour trouver chacun des coefficients qui sera alors développé lui-même en série, en nous arrêtant au deuxième ou troisième terme.

Dans ce but et pour simplifier nous allons établir l'équation générale permettant de connaître la force électromotrice développée dans un des circuits par une intensité de période quelconque dans l'autre circuit.

Soit dans un des circuits une intensité

$$I \sin (n \omega t + \varphi).$$

La force contre-électromotrice induite dans l'autre sera :

$$\frac{d}{dt} m I \sin (n \omega t + \varphi) \cos \omega t = n m \omega I \cos \omega t \cos (n \omega t + \varphi)$$
$$- m \omega I \sin \omega t \sin (n \omega t + \varphi).$$

D'après les formules donnant la somme d'arcs et la différence d'arcs, cette formule est aussi égale à :

$$\frac{\omega m I}{2} (n + 1) \cos \left((n + 1) \omega t + \varphi\right)$$
$$+ \frac{\omega m I}{2} (n - 1) \cos \left((n - 1) \omega t + \varphi\right).$$

Pour avoir la force électromotrice, cette formule doit être changée de signe.

De plus, en exécutant une rotation $\frac{\pi}{2}$ en arrière, nous transformerons les cosinus en sinus et nous aurons pour la force électromotrice développée :

$$\frac{\omega m I}{2} \left[(n + 1) \sin \left((n + 1) \omega t + \varphi - \frac{\pi}{2}\right)\right.$$
$$\left. + (n - 1) \sin \left((n - 1) \omega t + \varphi - \frac{\pi}{2}\right)\right].$$

c'est-à-dire qu'un terme pair de la série de Fourier existant comme intensité dans un des circuits développe dans l'autre deux termes impairs l'un immédiatement avant, l'autre immédiatement après.

De même, un terme impair dans l'un des circuits développe deux termes pairs dans l'autre.

Or, comme une force électromotrice d'une certaine période produit une intensité de même période, il s'ensuit que l'induit ne contiendra que des termes impairs, et les inducteurs des termes pairs.

Les coefficients des termes de ces deux séries vont naturellement en décroissant et décroissent très rapidement, à cause de la self-induction des deux circuits, qui réduit d'autant plus les valeurs des intensités que la fréquence est plus grande.

Mais il ne faudrait pas croire que ce soit un fait inévitable; il est possible de faire croître les coefficients au lieu de les faire décroître; il est possible également de les faire croître jusqu'au n^e terme, puis décroître ensuite à l'aide des propriétés remarquables des condensateurs, ce qui permet d'obtenir des courants d'une fréquence très élevée et de faire des machines donnant toutes sortes de fréquences, mais dont les courants d'une fréquence donnée seraient les plus intenses et pourraient par conséquent être considérés comme courants principaux.

Mais ce n'est pas le problème que nous nous sommes proposés de résoudre aujourd'hui, et nous reviendrons sur ce sujet dans un article prochain.

Nous allons chercher les différents coefficients des termes des séries, en appliquant cette formule générale.

Le courant continu des inducteurs produit dans l'induit une force électromotrice

$$I_0\,\omega m \sin \omega t.$$

Cette force électromotrice donne dans l'induit un courant

$$\frac{I_0\,\omega m}{\sqrt{R^2+\omega^2 L^2}} \sin(\omega t - \varphi_1) = I_1 \sin(\omega t - \varphi_1),$$

φ étant donné par la relation

$$\operatorname{tang} \varphi_1 = \frac{\omega L}{R}.$$

Ce courant I_1 donne dans les inducteurs une force électromotrice

$$I_1\, m\, \omega \sin\left(2\,\omega t - \varphi_1 - \frac{\pi}{2}\right).$$

Cette force électromotrice donne dans les inducteurs un courant

$$\frac{I_1\, m\, \omega}{\sqrt{\rho^2+4\omega^2\lambda^2}} \sin\left(2\omega t - \varphi_1 - \varphi_2 - \frac{\pi}{2}\right) = I_2 \sin\left(2\omega t - \varphi_1 - \varphi_2 - \frac{\pi}{2}\right),$$

avec la condition

$$\operatorname{tang} \varphi_2 = \frac{2\,\omega\,\lambda}{\rho}.$$

Ce courant I_2 donne dans l'induit une force électromotrice

$$\frac{I_2\, m\, \omega}{2} \sin(\omega t - \varphi_1 - \varphi_2 - \pi) + \frac{3\, I_2\, m\, \omega}{2} \sin(3\,\omega t - \varphi_1 - \varphi_2 - \pi),$$

force électromotrice qui produit un courant dans l'induit

$$\frac{I_2\, m\, \omega}{2\sqrt{R^2+\omega^2 L^2}} \sin(\omega t - \varphi_1 - \varphi_2 - \varphi_{3\cdot 1} - \pi)$$
$$+ \frac{3\, I_2\, m\, \omega}{2\sqrt{R^2+9\,\omega^2 L^2}} \sin(3\,\omega t - \varphi_1 - \varphi_2 - \varphi_{3\cdot 2} - \pi),$$

avec la condition

$$\operatorname{tang} \varphi_{3\cdot 1} = \frac{\omega L}{R} = \operatorname{tang} \varphi_1$$

et

$$\operatorname{tang} \varphi_{3\cdot 2} = \frac{3\,\omega L}{R} = \operatorname{tang} \varphi_3.$$

ce courant peut encore s'écrire :

$$I_{3\cdot 1} \sin(\omega t - 2\,\varphi_1 - \varphi_2 - \pi) + I_{3\cdot 2} \sin(3\,\omega t - \varphi_1 - \varphi_2 - \varphi_3 - \pi).$$

Ce courant redonne dans les inducteurs une force électromotrice

$$I_{3\cdot 1}\, m\, \omega \sin\left(2\,\omega t - 2\,\varphi_1 - \varphi_2 - \frac{3\pi}{2}\right)$$
$$+ I_{3\cdot 2}\, m\, \omega \sin\left(2\,\omega t - \varphi_1 - \varphi_2 - \varphi_3 - \frac{3\pi}{2}\right)$$
$$+ I_{3\cdot 2}\, m\, \omega\, 2 \sin\left(4\,\omega t - \varphi_1 - \varphi_2 - \varphi_3 - \frac{3\pi}{2}\right).$$

Chacun de ces termes donne encore une intensité qui donne à son tour dans l'induit une force électromotrice, et ainsi de suite.

On voit donc que finalement chaque série se compose d'une infinité de fréquences et que chaque fréquence comprend une infinité de

termes tout en supposant que le coefficient d'induction mutuelle a la forme sinusoïdale et que la self-induction est constante.

Les formules de la force électromotrice dans l'induit et de l'intensité vraie dans les inducteurs sont donc :

Force électromotrice vraie dans l'induit

A circuit ouvert :

$$I_0\,\omega\,m\sin\omega t$$

A circuit fermé :

$$\begin{aligned}
&I_0\,\omega\,m\sin\omega t + I_2\frac{\omega m}{2}\sin\left(\omega t-\varphi_1-\varphi_2-\pi\right) + I_{4\cdot1}\frac{\omega m}{2}\sin\left(\omega t-2\varphi_1-2\varphi_2-2\pi\right)\\
&\quad + I_{4\cdot2}\frac{\omega m}{2}\sin\left(\omega t-\varphi_1-2\varphi_2-\varphi_3-2\pi\right) + \ldots\ldots\ldots\ldots\\
&+ I_2\frac{3}{2}\omega m\sin\left(3\omega t-\varphi_1-\varphi_2-\pi\right) + I_{4\cdot1}\frac{3}{2}\omega m\sin\left(3\omega t-2\varphi_1-2\varphi_2-2\pi\right) + I_{4\cdot2}\frac{3}{2}\omega m\sin\left(3\omega t-\varphi_1-2\varphi_2-\varphi_3-2\pi\right)\\
&\quad + I_{4\cdot3}\frac{3}{2}\omega\,m\sin\left(3\omega t-\varphi_1-\varphi_2-\varphi_3-\varphi_4-2\pi\right) + \ldots\ldots\ldots\ldots\\
&+ I_{4\cdot3}\frac{5}{2}\omega\,m\sin\left(5\omega t-\varphi_1-\varphi_2-\varphi_3-\varphi_4-2\pi\right) + \ldots\ldots\ldots\ldots\\
&+ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots
\end{aligned}$$

Intensité vraie dans les inducteurs

A circuit induit ouvert : I_0.

A circuit induit fermé :

$$\begin{aligned}
&I_0 + \frac{I_1\,m\,\omega}{\sqrt{\rho^2+4\omega^2\lambda^2}}\sin\left(2\omega t-\varphi_1-\varphi_2-\frac{\pi}{2}\right) + \frac{I_{3\cdot1}\,m\,\omega}{\sqrt{\rho^2+4\omega^2\lambda^2}}\sin\left(2\omega t-2\varphi_1-2\varphi_2-\frac{3\pi}{2}\right)\\
&\quad + \frac{I_{3\cdot2}\,m\,\omega}{\sqrt{\rho^2+4\omega^2\lambda^2}}\sin\left(2\omega t-\varphi_1-\varphi_2-\varphi_3-\frac{3\pi}{2}\right) + \ldots\ldots\ldots\ldots\\
&+ \frac{I_{3\cdot2}\,2\,m\,\omega}{\sqrt{\rho^2+16\omega^2\lambda^2}}\sin\left(4\omega t-\varphi_1-\varphi_2-\varphi_3-\varphi_4-\frac{3\pi}{2}\right) + \ldots\ldots\ldots\ldots\\
&+ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots
\end{aligned}$$

Avec les conditions

$$I_1=\frac{I_0\,\omega\,m}{\sqrt{R^2+\omega^2L^2}}\qquad I_2=\frac{I_1\,\omega\,m}{\sqrt{\rho^2+4\omega^2\lambda^2}}\qquad I_{3\cdot1}=\frac{I_2\,\omega\,m}{2\sqrt{R^2+\omega^2L^2}}$$

$$I_{3\cdot2}=\frac{I_2\,\omega\,m}{\sqrt{R^2+9\omega^2L^2}}\qquad I_{4\cdot1}=\frac{I_{3\cdot1}\,\omega\,m}{\sqrt{\rho^2+4\omega^2\lambda^2}}\qquad I_{4\cdot2}=\frac{I_{3\cdot2}\,\omega\,m}{\sqrt{\rho^2+4\omega^2\lambda^2}}$$

$$I_{4\cdot3}=\frac{I_{3\cdot2}\,\omega\,m}{\sqrt{\rho^2+16\omega^2\lambda^2}}\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$\operatorname{tang}\varphi_1=\frac{\omega L}{R}\qquad \operatorname{tang}\varphi_2=\frac{2\omega\lambda}{\rho}$$

$$\operatorname{tang}\varphi_3=\frac{3\omega L}{R}\qquad \operatorname{tang}\varphi_4=\frac{4\omega\lambda}{\rho}.$$

Ces formules sont légèrement modifiées par la présence du fer qui entraine des absorptions d'énergie, mais la modification ne porte pas sur les premiers termes.

Dans les alternateurs ordinaires, seuls les termes en $3\omega t$ dans l'induit et en $2\omega t$ dans les inducteurs ont une influence et produisent une déformation appréciable des sinusoïdes; mais cette déformation est très appréciable.

La présence de ces termes est très visible dans bien des courbes relevées par divers expérimentateurs. Notamment la présence du terme $2\omega t$ se révèle dans des courbes relevées par M. Blondel [1] avec un petit enroulement placé sur les branches d'aimant d'une machine de Méritens, et dans des courbes relevées par MM. Torey et Walbridge [2], sur une machine Stanley à intensité constante. Il transforme le courant continu d'excitation en un courant ondulé. Une expérience fort simple et que tout le monde est à même de faire le montre bien. Il suffit de placer dans le circuit d'excitation d'un alternateur un ampèremètre dont le temps périodique d'oscillation soit très petit, d'exciter cet alternateur à part, avec des accumulateurs par exemple, et de faire tourner très lentement à la main ou autrement l'induit que l'on a préalablement mis en court circuit; l'ampèremètre oscillera avec une fréquence double de celle de la rotation de l'induit, ce qu'il est très aisé de voir.

C'est d'ailleurs la source de ce terme en $2\omega t$ qui fait chauffer tant le fer des inducteurs de certains alternateurs et baisser assez fortement

(1) *La Lumière Électrique*, t. XLI, p. 515.
(2) *La Lumière Électrique*, t. XXXVIII, p. 582.

le rendement. Il est produit en effet par une continuelle variation du flux magnétique des inducteurs qui occasionne par conséquent de fortes pertes par hystérésis et courants de Foucault. On a bien proposé pour supprimer ces variations de flux et les pertes qui en découlent, de placer des circuits fermés très peu résistants sur les inducteurs, mais je ne crois pas beaucoup à leur efficacité, l'enroulement inducteur n'est-il pas un circuit fermé peu résistant?

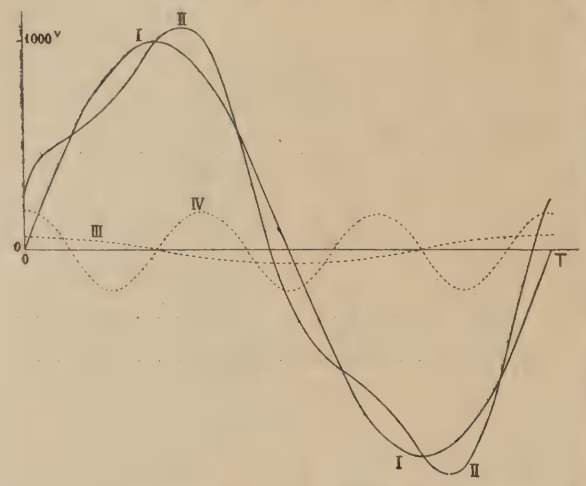


Fig. 1 — Force électromotrice vraie d'une machine à pôles alternés (sans self-induction dans l'induit). — (Machine à voltage constant).
I. Force électromotrice à circuit ouvert. — II. Force électromotrice à circuit fermé.

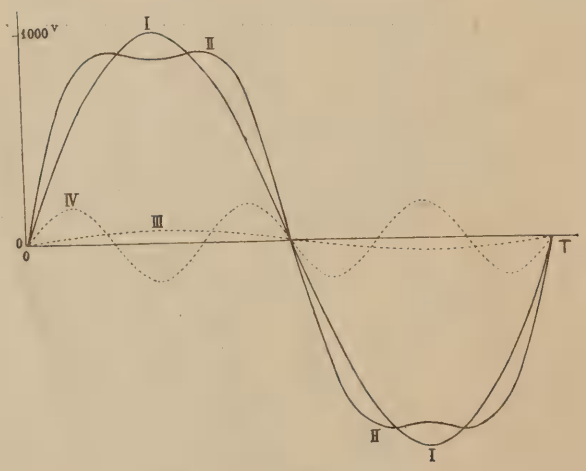


Fig. 2. — Force électromotrice vraie d'une machine à pôles alternés (avec très grande self-induction dans l'induit). — (Machine à intensité constante).
I. Force électromotrice à circuit ouvert. — II. Force électromotrice à circuit fermé.

Les termes en $3\omega t$ se voient aussi assez bien dans nombre de courbes expérimentales relevées dans l'induit par les mêmes expérimentateurs.

La sinusoïde présente en effet alors *six points d'inflexion* au lieu de deux.

Mais il peut y avoir des termes en $3\omega t$ sans que la courbe de la force électromotrice présente ces six points d'inflexion. Cette condition n'est réalisée que si le coefficient du terme en $3\omega t$ est assez grand.

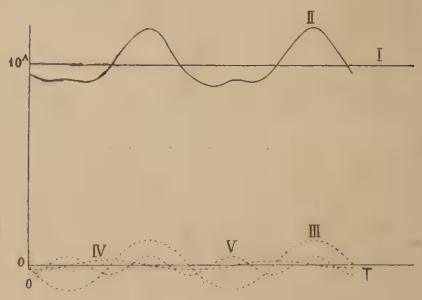


Fig. 3. — Intensité vraie dans les inducteurs d'une machine à pôles internés (sans self).
I. A circuit ouvert. — II. A circuit fermé.

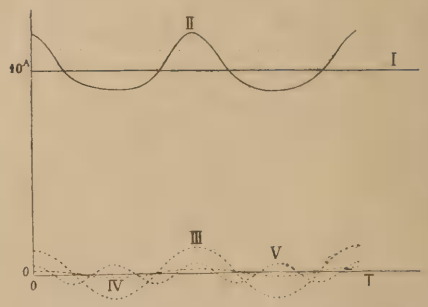


Fig. 4. — Intensité vraie dans les inductions d'une machine à pôles alternés (avec self).
I. A circuit ouvert. — II. A circuit fermé.

En effet, la caractéristique du point d'inflexion est la nullité de la dérivée seconde; il faut donc, pour qu'il y ait six points d'inflexion, que la dérivée seconde soit six fois nulle dans une période.

La dérivée seconde de

$$a \sin \omega t + b \sin (3\omega t + \varphi)$$

est

$$-a\omega^2 \sin \omega t - 9b\omega^2 \sin (3\omega t + \varphi),$$

ce qui montre, le second terme étant multiplié par 9, que pour certaines valeurs de φ il suffit que b soit plus grand que $\frac{1}{9}a$ pour qu'il y ait six

points d'inflexion. Mais nous reviendrons sur ce sujet à propos de la forme du coefficient d'induction mutuelle.

Pour permettre de bien voir le sens des déformations apportées par les termes en $3\omega t$ dans l'induit et en $2\omega t$ dans les inducteurs, j'ai représenté à l'aide de courbes (fig. 1, 2, 3, 4) les forces électromotrices dans les induits et les intensités dans les inducteurs d'un type de machines répondant presque aux machines industrielles; presque, parce que j'ai réduit un peu la self-induction des inducteurs, de façon à exagérer un peu la déformation pour la rendre plus visible.

Dans cette machine, j'ai supposé une excitation I_0 de 10 ampères, un coefficient d'induction mutuelle dont le maximum est égal à 1/5 quadrant, ce qui donne pour ωm, en faisant $\omega = 500$, $\omega m = 100$ ohms. Le maximum de la force électromotrice à circuit ouvert est donc 1000 volts.

Le coefficient de self-induction des inducteurs a été déterminé d'après la constante de temps sur une machine répondant à ces conditions d'excitation; pour accentuer, dis-je, les déformations, je l'ai réduit à 4 quadrants.

L'induit pourrait supporter un courant efficace de 20 ampères, de sorte qu'à plein débit sa résistance apparente doit être au total d'environ 40 ohms (anneau et circuit).

Dans ces conditions, on peut considérer deux cas extrêmes pour se rendre compte des déformations. C'est à plein débit que les termes déformants ont le plus d'importance; mais ce plein débit peut être effectué sur une résistance non inductive ou sur une résistance fortement inductive.

J'ai donc pris comme cas extrêmes d'abord $R = 40$, $\omega L = 0$, puis $R = 0$, $\omega L = 40$. Dans les deux cas, les coefficients des premiers termes sont très peu différents; c'est surtout sur les calages des sinusoïdes que se fait sentir la différence.

Les coefficients ont à peu près dans les deux cas les valeurs suivantes :

$I_0 = 10$ $I_1 = 25$ $I_2 = 1{,}25$ $I_{3\cdot 1} = 1{,}5$ $I_{3\cdot 2} = 3{,}75$
$I_{4\cdot 1} = 0{,}08$ $I_{4\cdot 2} = 0{,}19$ $I_{4\cdot 3} = 0{,}19$ etc....

Les décalages sont :

Pour $R = 40$ et $\omega L = 0$:

$\varphi_1 = 0$ $\varphi_2 = \text{presque } \frac{\pi}{2}$ $\varphi_3 = 0$ $\varphi_4 = \text{presque } \frac{\pi}{2}$... etc..

Pour $R = 0$ et $\omega L = 40$:

$\varphi_1 = \frac{\pi}{2}$ $\varphi_2 = \text{presque } \frac{\pi}{2}$. $\varphi_3 = \frac{\pi}{2}$ $\varphi_4 = \text{presque } \frac{\pi}{2}$... etc..

Les figures 1 et 2 représentent les déformations de la force électromotrice à plein débit sur une résistance non inductive et sur une résistance fortement inductive.

La figure 1 correspond donc au cas pratique des machines à voltage presque constant et la figure 2 au cas pratique des machines dites à intensité constante, dont l'intensité est à peu près constante entre certaines limites, grâce à une énorme self-induction.

Dans ces deux figures, I est la force électromotrice à circuit ouvert, II la force électromotrice en charge, III et IV les termes déformants, ces deux termes sont produits par le terme en $2\omega t$ des inducteurs. Les termes suivants ne seraient pas visibles sur ces figures, à cause de leur petitesse.

On voit que dans le premier cas, les termes III et IV surélèvent la courbe, et dans le second cas l'aplatissent.

L'intensité dans le cas de la figure 1 aurait la même forme que la force électromotrice, puisque le circuit est supposé sans self-induction.

Dans le cas de la figure 2, au contraire, la forme serait changée, plus proche de la sinusoïde, mais pointue au lieu d'être aplatie.

On sait en effet que la self-induction a pour effet de réduire fortement les termes de fréquence élevée et par conséquent de rectifier les courbes de force électromotrice. La courbe de l'intensité serait pointue, à cause des décalages.

Les figures 3 et 4 représentent l'intensité dans les inducteurs à circuit induit ouvert et en charge. La figure 3 correspond à la figure 1 et la figure 4 à la figure 2. Il y existe les plus forts termes en $2\omega t$ et $4\omega t$.

Tout ce que nous venons de voir se rapporte à des machines ayant leurs pôles alternés. Pour les machines qui comme la Mordey ont tous leurs flux de même sens, le coefficient d'induction mutuelle ne change pas de signe et est toujours positif; il doit alors être mis sous la forme

$$m_0 + m \cos \omega t.$$

La force électromotrice à circuit ouvert a toujours la même valeur :

$$I_0 m \omega \sin \omega t.$$

mais l'action mutuelle des deux circuits change. Dans l'expression de la force électromotrice induite dans un des circuits par un courant $I \sin (n\omega t + \varphi)$ parcourant l'autre, vient s'ajouter un terme,

$$m_0 I \omega n \cos (n\omega t + \varphi),$$

qui est de même période que le courant inducteur. Il s'ensuit que *dans une machine à pôles non alternés l'inducteur et l'induit sont le siège de courants représentés par tous les termes, pairs et impairs, de la série de Fourier.*

La valeur des termes ainsi ajoutés par la constante m_0 dépend de la valeur de cette constante ; la plus petite valeur qu'elle puisse avoir est m et correspond au cas où le coefficient d'induction mutuelle serait nul entre deux pôles, ou mieux au cas où les bobines de l'induit n'embrasseraient aucun flux des inducteurs au milieu de deux pôles consécutifs, ce qui pratiquement n'est jamais réalisé : m_0 est donc toujours plus grand que m.

Ces machines étant bien moins répandues que celles à pôles alternés, nous ne chercherons pas à en établir la formule générale, cela pourrait paraître fastidieux. Nous nous contenterons de regarder l'importance des termes ajoutés par ce facteur m_0.

Nous avons vu que le courant résultant de la force électromotrice $I_0 m \omega \sin \omega t$ est :

$$I_1 \sin (\omega t - \varphi_1) = \frac{I_0 \omega m}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \sin (\omega t - \varphi_1).$$

Ce courant développera donc dans les inducteurs, outre les termes en $2\omega t$ que nous avons déjà établis, une force électromotrice :

$$I_1 m_0 \omega \sin \left(\omega t - \varphi_1 - \frac{\pi}{2}\right).$$

Puisque m_0 est au moins égal à m, cette force électromotrice sera au moins aussi grande que celle en $2\omega t$, qui est

$$I_1 m \omega \sin \left(2\omega t - \varphi_1 - \frac{\pi}{2}\right).$$

Et comme elle est de fréquence égale à 1/2, l'intensité qu'elle déterminera dans les inducteurs sera donc au moins le double de celle en $2\omega t$.

Cette intensité en ωt provoquera dans l'induit deux termes en ωt et en $2\omega t$ dont chacun sera certainement plus fort que celui en $3\omega t$ développé par le terme en $2\omega t$ des inducteurs. Avec de telles machines la déformation est donc certainement plus considérable qu'avec des machines à pôles alternés. Il faudrait donc les rejeter à ce point de vue. Je n'ai jamais vu de courbes relevées, soit dans l'inducteur, soit dans l'induit sur des machines à pôles non alternés, et je crois qu'il n'en a jamais été publié, mais il serait intéressant que quelqu'un ayant une de ces machines à sa disposition entreprît ce travail pour mettre expérimentalement en évidence les termes en ωt, $2\omega t$, $3\omega t$, etc. Il est probable qu'outre la déformation plus grande des sinusoïdes que cette disposition occasionne, il y a aussi une plus grande perte d'énergie par hystérésis et courants de Foucault dans les inducteurs, puisque, outre les variations de flux en $2\omega t$, $4\omega t$, etc... dont ils sont le siège dans les alternateurs à pôles alternés, il y a en plus les variations de flux plus grandes en ωt, $3\omega t$, $5\omega t$, etc.....

A cela on pourrait objecter avec raison que la perte due aux variations de flux n'est pas la somme des pertes que chaque fréquence occasionne, mais la perte que la résultante de ces fréquences occasionne. Il n'en reste pas moins vrai que les différences entre les maxima et les minima du flux étant plus grandes avec des pôles non alternés et des variations plus nombreuses, les pertes par hystérésis et courants de Foucault doivent être plus grandes.

Il n'est pas besoin d'insister sur l'intérêt qu'il y a d'éviter industriellement la déformation des sinusoïdes. Partout où ils passent et où il y a du fer, les termes en $2\omega t$, $3\omega t$, $4\omega t$, etc., entraînent des pertes qu'il vaut mieux éviter. En outre, les appareils de mesure n'indiquent plus les valeurs efficaces rigoureusement.

Il est clair que la racine carrée de la moyenne des carrés des valeurs instantanées n'est plus ce qu'elle devrait être. Une discussion sur ce sujet nous entraînerait trop loin.

Quelles sont les précautions à prendre pour diminuer les termes autres que le premier provenant du chef de l'action mutuelle des circuits ?

1° D'abord faire des machines à pôles alternés pour éviter le premier terme très fort en ωt dans les inducteurs, et les autres termes qui en découlent.

2° Avoir une très forte self-induction dans les inducteurs.

En effet, le facteur qui contribue le plus à réduire les termes déformants est la résistance

apparente des circuits aux fréquences $2\omega t$, $3\omega t$, ... etc. Il est donc tout indiqué de mettre de fortes self-inductions dans ces circuits pour les supprimer. Mais cela est sans grand intérêt dans l'induit et ne serait pas sans inconvénient. Sans grand intérêt, parce qu'une machine est construite pour une certaine intensité dépendant de la section du fil, et que c'est cette intensité (le premier terme) qui détermine le terme en $2\omega t$ des inducteurs (et par suite les autres), qui est par conséquent pratiquement indépendant de la self-induction de l'induit. Ce terme en $2\omega t$ est en effet :

$$\frac{I_1 m\omega \sin\left(2\omega t - \varphi_1 - \varphi_2 - \frac{\pi}{2}\right)}{\sqrt{\rho^2 + 4\omega^2\lambda^2}},$$

et I_1 qui est l'intensité dans l'induit, est fixé quelle que soit la self-induction de l'induit.

Il n'y a donc que pour les termes en $4\omega t$ dans les inducteurs et en $5\omega t$ dans l'induit intérêt à rendre forte la self-induction de l'induit, et ce n'est pas sans inconvénient. En effet, sauf lorsque l'on tient à faire une machine à intensité presque constante, et ce genre de machines a toujours une puissance spécifique faible, l'intérêt est de supprimer la self-induction de l'induit pour accroître d'autant la puissance utile de la machine.

Il vaut donc mieux se passer de self-induction dans l'induit et se rejeter sur les inducteurs pour amortir les termes déformants, en les faisant très bourrés de fer.

A ce point de vue des inducteurs excités par une machine, ce qui en augmente la self-induction, sont préférables à des inducteurs excités par des accumulateurs, comme on le fait quelquefois, à ce point de vue seulement.

Au point de vue du rendement, il faut, ainsi que nous l'avons déjà dit, employer des machines à pôles alternés, quoique d'autre part cette condition augmente les pertes par hystérésis dans l'induit et par courants de Foucault dans les fils de l'induit. La présence des flux en $2\omega t$, $4\omega t$, etc. dans les inducteurs conduit à les feuilleter ainsi qu'on l'a déjà fait.

Nous avons déjà dit que la présence du fer et l'absorption de l'énergie qu'elle entraîne tendaient à modifier les termes de la série que nous avons établie, mais cette modification ne porte que sur les derniers termes.

Forme du coefficient d'induction mutuelle.

Dans tous nos précédents calculs nous avons supposé le coefficient d'induction mutuelle parfaitement sinusoïdal. Dans cette partie nous négligerons les termes introduits par l'action mutuelle des circuits pour ne considérer que les termes introduits par la forme du coefficient d'induction mutuelle.

Cette forme dépend à la fois de la forme et de la position des bobines induites et de la forme et de la position des masses polaires.

Au sujet de la forme des bobines et des masses nous ne pouvons pas dire grand'chose. Ce n'est guère que par tâtonnements que l'on arrive à déterminer les meilleures.

Quant à la position, on peut se rendre facilement compte de son influence. Les masses polaires peuvent être, par rapport aux bobines de l'induit, trop espacées ou trop rapprochées.

Mais il y a encore ici à faire une distinction entre les machines à pôles alternés et à pôles non alternés. Considérons d'abord les machines à pôles alternés.

Dans une telle machine, et par construction, il y a symétrie par rapport à l'axe de chaque masse polaire et la période s'étend de l'axe d'une masse à l'axe de la deuxième suivante. Dans la représentation du coefficient d'induction mutuelle les parties positives et négatives doivent être superposables, c'est-à-dire que chaque demi-période de la sinusoïde déformée doit être symétrique par rapport à l'axe passant par son milieu.

Il en résulte que le coefficient d'induction mutuelle ne peut avoir comme formule que la suivante :

$$m\,[a\cos\omega t \pm b\cos 3\omega t \pm c\cos 5\omega t \pm \ldots\ldots],$$

ou cette même formule avec les cosinus remplacés par des sinus.

Nous nous arrêterons aux deux premiers termes pour l'étude des conséquences de cette forme.

Si les masses polaires sont trop écartées, la sinusoïde du coefficient d'induction mutuelle sera pointue et aura la forme :

$$m\,(a\cos\omega t + b\cos 3\omega t),$$

a et b étant positifs (fig. 5).

Si les masses polaires sont trop rappro-

chées [1], la sinusoïde du coefficient d'induction mutuelle sera aplatie et aura la forme :

$$m\,(a \cos \omega t - b \cos 3\omega t),$$

a et b étant positifs (fig. 6).

Nous allons chercher quelle force électromotrice déterminera ce coefficient en faisant rentrer les deux formules dans la seconde, b pouvant alors être positif ou négatif.

Mais auparavant il y a une remarque importante à faire.

Lorsqu'elle est aplatie, la sinusoïde ne présente

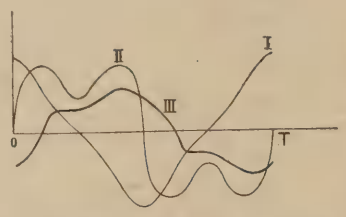


Fig. 5. — Pôles alternés trop espacés.
I. Coefficient mutuel. — II. Force électromotrice. — III. Intensité (self).

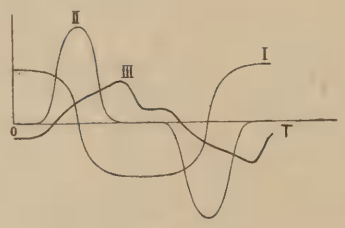


Fig. 6. — Pôles alternés trop rapprochés.
I. Coefficient mutuel. — II. Force électromotrice. — III. Intensité (self).

jamais pour cela de minimum à son sommet, c'est-à-dire qu'elle ne comporte que deux points d'inflexion, il faut donc limiter la valeur de b.

La caractéristique du point d'inflexion est la dérivée seconde nulle.

La dérivée seconde de

$$a \cos \omega t - b \cos 3\omega t$$

est

$$-a\,\omega^2 \cos \omega t + 9\,b\,\omega^2 \cos 3\omega t.$$

Cette dernière fonction ne doit donc avoir que deux racines réelles pendant une période. Elle peut aussi s'écrire :

$$-\omega^2 (a \cos \omega t - 9\,b \cos^3 \omega t + 27 \sin^2 \omega t \cos \omega t),$$

ou

$$-\omega^2 \cos \omega t\,(a - 9\,b \cos 2\omega t + 18\,b \sin^2 \omega t).$$

Pour qu'elle n'ait que deux racines réelles pendant une période, il faut et il suffit que le terme entre parenthèses ne soit jamais nul, ce qui conduit à

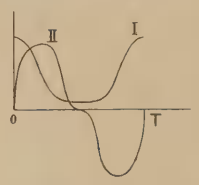
$$a > 9\,b\,(-\cos 2\omega t + 2 \sin^2 \omega t).$$

Or, la plus grande valeur négative de $(-\cos 2\,at + 2 \sin^2 at)$ correspond à $\omega t = 0$ et est -1 ; il faut donc finalement :

$$a > 9b,$$

c'est-à-dire que pratiquement b n'est jamais supérieur à 11 o/o de a.

De même, lorsqu'elle est pointue la sinusoïde du coefficient mutuel ne coupe jamais six fois



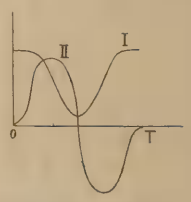


Fig. 7. — Pôles non alternés trop espacés.
I. Coefficient. — II. Force électromotrice.

Fig. 8. — Pôles non alternés trop rapprochés.
I. Coefficient. — II. Force électromotrice.

l'axe du temps, il faut donc également dans ce cas que

$$a \cos \omega t - b \cos 3\omega t$$

n'ait que deux racines pendant une période, ce qui correspond à

$$a > 3b.$$

Par conséquent, dans les formules qui suivront il ne faudra jamais oublier que quand b est positif, il n'est jamais supérieur à $\frac{1}{9}\,a$, et quand b est négatif, il n'est jamais supérieur à $\frac{1}{3}\,a$.

C'est là un défaut de la série de Fourier de ne pas permettre de représenter simplement des déformations plus grandes, puisqu'elle ne permet que de considérer le cas où les masses polaires trop rapprochées n'introduisent qu'un très petit terme déformant. Il serait bien plus intéressant qu'elle permît, quand ces masses sont trop rapprochées, comme quand elles sont trop éloignées, l'introduction d'un terme en $3\omega t$ ayant

[1] C'est en particulier le cas des courbes communiquées par M. Warren B. Lewis. (*La Lumière Électrique*, t. XLII p. 482.

comme valeur au moins 30 o/o du terme principal. Mais il faut bien nous contenter de cela.

La force électromotrice induite par un coefficient mutuel

$$m\,(a \cos \omega t + b \cos 3\,\omega t)$$

est

$$I_0\, m\,\omega\,(a \sin \omega t + 3b \sin 3\,\omega t).$$

Elle est donc considérablement plus déformée que le coefficient d'induction mutuelle.

Dans les figures 5 et 6 sont représentés les coefficients d'induction mutuelle avec les déformations correspondant à des inducteurs trop écartés et trop rapprochés, et les forces électromotrices induites.

Le résultat qui saute immédiatement aux yeux est qu'un coefficient d'induction mutuelle aplati donne une force électromotrice pointue, et inversement un coefficient d'iduction mutuelle pointu donne une force électromotrice aplatie.

Dans le cas où il n'y a pas de self-induction dans le circuit, l'intensité suit naturellement la même loi que la force électromotrice et présente les mêmes déformations.

Si, au contraire, il y a de la self-induction, l'intensité est de la forme

$$I_0\, m\,\omega \left[\frac{a \sin (\omega t + \varphi_1)}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} + \frac{3b \sin (3\,\omega t + \varphi_2)}{\sqrt{R^2 + 9\,\omega^2 L^2}}\right]$$

φ_1 et φ_2 étant donnés par

$$\operatorname{tang} \varphi_1 = \frac{\omega L}{R} \qquad \operatorname{tang} \varphi_2 = \frac{3\,\omega L}{R}.$$

Les figures 5 et 6 montrent aussi les courbes des intensités. On constate, comme nous l'avons déjà vu ailleurs, que la self-induction rectifie les courbes et réduit les termes déformants. La capacité mise en circuit a un effet inverse ; elle peut donc être parfois très nuisible, car elle avantage les termes déformants au détriment de la sinusoïde. Mais nous ne pouvons aborder ce sujet sans nous exposer à y séjourner trop longtemps.

Considérons maintenant une machine à pôles alternés.

Dans une telle machine il y a symétrie par rapport à l'axe de chaque masse polaire, et la période s'étend de l'axe d'une masse à l'axe de la suivante. Dans la représentation du coefficient d'induction mutuelle les parties supérieures et inférieures de la courbe *toujours positive* ne sont plus superposables.

La courbe ne peut plus être représentée par la fonction

$$m_0 + m\,(a \cos \omega t + b \cos 3\,\omega t).$$

A la rigueur la forme

$$m_0 + m\,(a \cos \omega t - b \cos 3\,\omega t)$$

peut encore représenter ce coefficient dans le cas où les pôles sont trop espacés ; mais ne répondant pas aux deux cas des pôles trop et trop peu espacés, il est préférable de prendre la formule

$$m_0 + m\,(a \cos \omega t + b \cos 2\,\omega t)$$

pour les pôles trop espacés, et

$$m_0 + m\,(a \cos \omega t - b \cos 2\,\omega t)$$

pour les pôles trop rapprochés.

Ici encore il faut dans ces formules donner à b une valeur assez petite vis-à-vis de a pour se trouver dans les conditions réelles des machines existantes. La force électromotrice induite a le défaut de ne pas être symétrique dans la période, tandis qu'avec les pôles alternés elle reste toujours symétrique.

Dans les figures 7 et 8 nous avons représenté les coefficients d'induction mutuelle et les forces électromotrices produites avec des pôles trop espacés et trop rapprochés.

En résumé, de même que dans l'action mutuelle des deux circuits les machines à pôles alternés n'ont dans l'induit que des termes impairs, dans la forme du coefficient d'induction mutuelle ils ne peuvent avoir que des termes impairs.

Au contraire, les machines à pôles non alternés, qui ont tous les termes de la série dans l'induit, peuvent avoir leur coefficient d'induction mutuelle représenté par des termes pairs et impairs. La représentation par des termes pairs leur sied mieux et elle montre que dans ces machines la mauvaise position des pôles non seulement déforme les sinusoïdes, comme dans les autres machines, mais place les maxima et minima de la force électromotrice à des distances inégales dans le temps.

C'est ce qui arrive chaque fois que l'on associe des termes pairs et des termes impairs, et il est évident que le même phénomène de dissymétrie se reproduit dans l'action mutuelle du circuit de ces machines.

PAUL BOUCHEROT.

LA TÉLÉPHONIE A GRANDE DISTANCE

La lumière se fait peu à peu; certaines questions qui, il y a quelques années, restaient sans aucune réponse, sont aujourd'hui tout à fait éclaircies; d'autres encore bien obscures reçoivent cependant un éclaircissement qui grandit tous les jours et en annonce la solution prochaine.

Parmi ces dernières se trouvent celles qui tiennent à l'usage des courants alternatifs dont les courants interrompus employés en télégraphie sont un cas particulier; on peut dire que l'étude méthodique et la compréhension un peu nette des effets de cet ordre sont tout à fait récentes.

Une des applications les plus utiles et jusqu'ici les plus mystérieuses des courants de ce genre est la téléphonie; on la pratique depuis assez longtemps; est-il trop hardi de dire qu'en s'en servant on n'y comprenait pas grand'chose? Sans doute les effets simples étaient connus et, jusqu'à un certain point, expliqués; mais rien n'était formulé, et rien n'était calculable. L'application aux longues distances était particulièrement mal connue. Elle n'est cependant pas aussi nouvelle qu'on pourrait le penser.

Il me souvient que vers le commencement de 1880 un ingénieur des télégraphes me dit avoir fait en Algérie une expérience sur une distance très grande; le fil, qui était unique, allait je crois d'Alger à Laghouat; on réussit, paraît-il, très bien à échanger des mots. La ligne était dans des conditions avantageuses et presque uniques à certains points de vue, étant éloignée du voisinage de toute autre communication télégraphique ou téléphonique.

Il est naturel que nous rappelions ici les expériences déjà anciennes auxquelles ce journal a pris une grande part vers la fin de 1880. En ce temps là on ne s'était pas encore résolu à supprimer les effets de l'induction extérieure par le moyen radical indiqué dès l'origine par Hughes, c'est-à-dire en faisant usage de deux fils; on se flattait de surmonter ces effets fâcheux en faisant usage d'appareils transmetteurs très puissants, de récepteurs spéciaux. Inutile de dire qu'on n'y parvint point; le téléphone ne peut vaincre le télégraphe; les expériences ne réussirent qu'à des heures de la nuit où le travail des autres lignes était nul ou à peu près; mais il fut prouvé que la communication téléphonique peut aller très loin; les essais furent poussés de proche en proche de Paris jusqu'à Bordeaux, soit sur une distance de 580 kilomètres; la conversation était encore possible. Je ne saurais dire quelle était la résistance, la section de la ligne; en ce temps on ne pensait pas encore à s'en préoccuper.

Comme l'Administration des télégraphes n'était nullement disposée à donner deux de ses lignes pour installer des services téléphoniques et encore moins à en établir de spéciales, les choses en restèrent là. La question se réveilla lorsque Van Rysselberghe eut imaginé son système permettant de téléphoner et de télégraphier en même temps sur la même ligne. On sait que le procédé fut essayé d'abord en Belgique. Il existait déjà dans ce pays des lignes faites en bronze phosphoreux; l'expérience montra que le fonctionnement était meilleur sur ces lignes. On les adopta pour les premiers essais faits entre la France et la Belgique, et l'on sait que la réussite fut complète.

Il devenait évident que la constitution de la ligne elle-même, indépendamment des actions extérieures, avait une sérieuse influence sur le phénomène; l'attention se porta sur ce point, et M. Preece donna la formule aujourd'hui si connue que nous rappelons.

L'aptitude d'une ligne à la transmission téléphonique, d'après ces idées, dépend du produit C R de sa capacité totale par sa résistance totale; suivant la valeur de ce produit on obtient les résultats suivants :

La transmission de la parole est

Impossible lorsque le produit C R		=	15 000
Possible	—	—	12 500
Bonne	—	—	10 000
Très bonne	—	—	7 500
Excellente	—	—	5 000
Parfaite	—	—	2 500

Cette formule n'avait pas été créée de toutes pièces pour la circonstance; on en faisait usage en télégraphie, et elle avait donné de bons résultats comme règle de construction pour les câbles et pour le calcul des rapidités de transmission qu'ils peuvent supporter.

Je dois dire que quand cette formule fut connue, malgré la haute autorité de M. Preece, il me fut impossible de l'accueillir avec pleine confiance. Sans doute, la capacité de la ligne

devait jouer un rôle, et un rôle important, cela résultait *a fortiori* des observations faites sur le service télégraphique à grande portée; le fait nous était bien connu; on s'était efforcé d'en tenir compte dans les expériences de 1880 que j'ai rappelées plus haut; on avait introduit des condensateurs pour reproduire l'action des lignes réelles; c'est même ainsi qu'on fut amené à découvrir que le condensateur pouvait parler.

Je ne fus donc pas surpris de voir la capacité entrer dans la formule; il n'en fut pas de même pour la résistance; nous savons combien elle influe peu sur les phénomènes téléphoniques, des milliers d'ohms ne font pas grand'chose; les expériences de 1880 avaient montré qu'avec l'augmentation de la distance, la voix perdait très sensiblement en netteté, presque rien en puissance; en sorte que, tout en admettant que la résistance joue un rôle, il me semblait, et il me semble encore un peu singulier que ce rôle soit aussi important que celui de la capacité.

Les expériences subséquentes ne sont pas venues lever ces doutes, au contraire. Lorsqu'on établit la ligne de Paris à Londres, on adopta comme règle la valeur CR = 7500. La transmission devait donc être très bonne; elle fut excellente, à peu près parfaite.

Cette déception dans le bon sens amena M. Preece à examiner de plus près la formule; il tint compte de circonstances spéciales, d'actions provenant du câble sous-marin, et la formule continua à rendre compte des faits.

Mais voici qu'au cours des derniers mois on voulut faire en Amérique des lignes téléphoniques d'une portée qui dépasse tout ce qui était fait et pouvait être fait en Angleterre, des lignes de 1000, 1500, 1900 kilomètres de longueur comme celle qui vient d'être établie de Boston à Chicago. La formule conduisait à des poids de cuivre qui effrayèrent l'esprit pratique des Américains; ils firent en couplant les lignes des expériences directes, et arrivèrent aux résultats suivants, que le journal a déjà donnés.

La transmission fut

Excellente	à 1000 kil.	avec CR	=	31 000
Bonne	à 1200 »	»	=	45 000
Médiocre	à 1420 »	»	=	62 000
Impossible	à 1750 »	»	=	94 000

Partant de là, ils n'hésitèrent pas à établir entre New-York et Chicago une ligne pour laquelle suivant leur calcul CR = 32 000. Le résultat fut, paraît-il, très satisfaisant.

Là-dessus, comme bien on pense, discussion énergique : les pièces sont sous les yeux du lecteur, le dernier numéro de *La Lumière Electrique* a publié une conférence de M. Preece dans laquelle, évaluant les quantités autrement qu'en Amérique, il maintient l'exactitude de la formule.

Le présent numéro contient la réponse des Américains, dont la forme un peu vive est amusante, et dont le fond, il faut en convenir, paraît fort sérieux. Il va sans dire que de leur côté ils maintiennent les chiffres et les résultats qu'ils ont obtenus.

Il ne m'appartient pas de donner une conclusion à ce débat; d'abord, il n'est peut-être pas encore temps; ensuite, le lecteur a tout ce qu'il faut pour se former une opinion.

Mais il amène diverses remarques. Il me semble d'abord qu'on n'est pas entièrement d'accord sur une des quantités même que renferme la formule. On me paraît mesurer C de façons assez différentes; est-ce la capacité totale, par rapport à la terre, ou d'un des fils par rapport à l'autre; celle-ci est-elle la moitié de la capacité à la terre comme l'admet Preece, ou les 0,60 comme le pensent les Américains : ces différences ne sauraient altérer le principe, mais elles importent pour les résultats numériques.

Du reste, M. Preece va encore plus loin; dans sa communication (voir la *Lumière Electrique* du 18 mars) il déclare que C ne peut être mesuré directement, il faut faire des corrections de divers ordres; en somme « chaque long circuit exigera que sa capacité soit mesurée par comparaison avec une échelle CR empirique. M. Preece a déterminé cette échelle par des expériences soigneuses sur des câbles artificiels. »

J'avoue que ceci me laisse rêveur. Qu'est-ce que peut bien être cette quantité C qui ne peut se mesurer directement et qu'on n'obtient que d'après une échelle empirique? Il ne faut vraiment plus l'appeler capacité; ce mot a un sens trop précis; c'est autre chose; quelque chose de très utile peut-être, mais qui demanderait, ce me semble, une définition moins arbitraire.

Ce qui me frappe ensuite, c'est de ne pas voir entrer dans la formule ni dans le débat un élément qui me semblait devoir y jouer un rôle, je veux parler de la self-induction de la ligne.

Je comprends jusqu'à un certain point que son influence ait pu être négligée en télégraphie. Les courants télégraphiques n'ont pas la même configuration que les courants alternatifs. Ce sont seulement des courants interrompus ayant des durées très variables; si on voulait en quelque point les rapprocher des courants alternatifs, il faudrait leur attribuer une fréquence extrêmement basse. Or chacun sait que les effets de la self-induction diminuent quand la fréquence s'abaisse tandis que ceux de la capacité s'accentuent.

Il n'est donc pas impossible que les règles pour calculer les circuits télégraphiques et leur fonctionnement aient pu ne pas tenir compte de cet élément. Nous voyons cependant que certains savants estiment qu'il y a lieu de s'en occuper: M. S.-P. Thompson a pris l'année dernière un brevet pour disposer des self-inductions en divers points des lignes à grande capacité, estimant qu'il arrivera ainsi à augmenter leur rapidité de transmission.

La Lumière Électrique a rapporté dans son numéro 5 de l'année actuelle des expériences faites en Allemagne sur le système Godfroy, consistant à shunter l'extrémité d'un câble avec une self-induction pour diminuer les effets de la capacité; les résultats paraissent sinon tout à fait concluants, au moins très dignes d'attention.

Mais quand il serait vrai que la self-induction a peu d'effet en télégraphie, serait-il permis d'en conclure qu'il en sera de même en téléphonie? Il me semble bien que non. Les courants téléphoniques sont bien des courants alternatifs dont la périodicité, variable il est vrai, a toujours des valeurs élevées, plusieurs centaines de périodes en moyenne par seconde.

Dans de pareilles conditions, l'effet de la self-induction peut-il ne pas avoir une importance réelle? Sans doute, au moins pour les lignes aériennes, la self-induction d'une simple boucle de fil dans un milieu aussi peu perméable que l'air ne peut avoir qu'une valeur absolue peu élevée; mais il en est de même de la capacité, qui est fonction, au moins en ce qui concerne les dimensions du fil et sa situation, des mêmes éléments. S'il s'agit des lignes souterraines ou sous-marines, la question est différente; la présence des isolants hétérogènes dont on fait usage peut modifier la capacité; elle doit même alors être variable avec la fréquence; le problème est donc plus compliqué.

Quoi qu'il en soit, il me semble que la self-induction doit jouer un rôle dans ces transmissions, ou si cela n'est pas, je demande qu'on le prouve, car il me paraît certain qu'*a priori* les présomptions sont en faveur de cette opinion.

Je vois bien les difficultés, et M. Preece, avec sa grande habitude de la pratique, les a indiquées en montrant la difficulté de mesurer une valeur bien déterminée par la capacité. Avec une ligne complexe, comprenant des parties aériennes, d'autres souterraines, le problème a peut-être des difficultés; mais ne se simplifierait-il pas en le posant bien; en définissant avec précision les conditions dans lesquelles on entend se placer, la fréquence moyenne, l'intensité des courants dont on a l'intention de faire usage, n'aura-t-on pas plus de précision?

Peut-être la loi cherchée est-elle plus facile à trouver que nous ne le supposons; peut-être s'agit-il d'arriver, pour une fréquence moyenne déterminée, à trouver, suivant les formules connues, les valeurs de C et de L pour lesquelles les actions de ces éléments s'annulent. Peut-être aussi est-ce tout autre chose.

En tout cas, les variations dans les résultats prouvent que la question n'est pas résolue. Elle est trop importante pour qu'on n'achève pas de l'éclaircir lorsqu'il y a déjà un si grand pas de fait.

FRANK GÉRALDY.

PHOTOMÉTRIE ET PHOTOPTOMÉTRIE [1]

II

MESURE RAPIDE DES ÉCLAIREMENTS MOYENS

13. Il est facile d'appliquer à la mesure d'éclairements moyens le photomètre fondé sur la loi de déperdition lumineuse du sulfure de zinc phosphorescent; il suffit d'ajouter à l'écran translucide ordinaire un ou plusieurs écrans d'un pouvoir absorbant plus ou moins considérable, préalablemement déterminé par les méthodes

[1] *La Lumière Électrique* du 4 février 1893, p. 201.

que j'ai exposées (§ 12) ou par tout autre procédé.

Par deux mesures successives de distances dans le plan horizontal, on peut déterminer l'intensité i d'une source haute, inaccessible, d'intensité moyenne, dont la distance est inconnue.

Soient : o (fig. 1) la source dont il s'agit de mesurer l'intensité, q, q' les éclairements de l'écran translucide placé aux distances or, or', éclairements égaux à l'éclat du sulfure de zinc à ces temps d'observation et évalués, par exemple, en carcels-mètre, on a

$$\frac{i}{\overline{or}^2} = q, \quad \frac{i}{\overline{or'}^2} = q';$$

ou

$$\overline{or}^2 = \frac{i}{q}, \quad \overline{or'}^2 = \frac{i}{q};$$

mais

$$\overline{or}^2 = \overline{od}^2 + \overline{dr}^2$$
$$\overline{or'}^2 = \overline{od}^2 + \overline{dr'}^2.$$

d'où

$$\overline{or}^2 - \overline{or'}^2 = \overline{dr}^2 - \overline{dr'}^2;$$

par conséquent

$$i = \frac{qq'}{q - q'} \left(\overline{dr'}^2 - \overline{dr}^2 \right).$$

Cette formule très simple peut servir à des déterminations rapides d'intensités de becs de gaz ou de lampes à arc dans des espaces peu éclairés.

Si l'on pouvait compter sur une constance relative pendant un temps donné de l'énergie de piles portatives, on pourrait, en adoptant pour étalon intermédiaire non plus le sulfure de zinc phosphorescent, mais une lampe électrique à deux voltages différents, et en mesurant deux distances horizontales, évaluer des sources hautes, d'une intensité quelconque, sans mesures d'angles.

III

LE SULFURE DE ZINC PHOSPHORESCENT CONSIDÉRÉ COMME ÉTALON PHOTOMÉTRIQUE SECONDAIRE.

14. On sait que, sur une proposition due à M. Violle, la conférence des unités électriques a adopté pour étalon photométrique absolu la quantité de lumière de même longueur d'onde émise en direction normale par 1 centimètre carré de surface de platine fondu, à la température de solidification.

Les lecteurs de *La Lumière Électrique* connaissent bien le modèle scientifique et le modèle industriel de l'étalon Violle [1], ainsi que les simplifications de M. W. Siemens et de M. Liebenthal [2]. Ces travaux ont eu pour résultat bien plus de réaliser l'unification des étalons photométriques que d'apporter une unité de lumière directement utilisable dans les mesures industrielles. La complication, le prix et la délicatesse de ces appareils ont été jusqu'ici de sérieux obstacles à leur diffusion ; de là, l'usage à peu près général d'étalons secondaires, dont la constance relative a dû être assurée par des dis-

Fig. 1

positifs et des manipulations variés sur la valeur desquels les ingénieurs ne sont pas d'ailleurs unanimement d'accord. Tels sont :

1° La lampe Carcel, qui donnerait des indications variant de 2 à 3 o/o seulement, quand on suit les prescriptions minutieuses de Dumas et Regnault (0,481 de l'unité Violle) ;

2° Les bougies de l'Étoile (0,062 de l'unité Violle), de blanc de baleine (0,054), de paraffine (0,061), la bougie décimale définie par le Congrès des électriciens comme la vingtième partie de l'unité absolue, toutes bougies dont on peut maintenir avec des précautions convenables la constance à 5 o/o près ;

3° Les lampes à pétrole rectifié, dont le plus grand écart serait de 1,70 o/o ;

4° La lampe Hefner à acétate d'amyle, dont la constance lumineuse et la stabilité de flamme sont subordonnées à des particularités de fabrication et à la pureté du produit dans une assez grande mesure (+ 8,9 et — 3,2 o/o) ;

5° Les becs de gaz Giroud, dont la constance est assurée par un rhéomètre et qui traduisent tout changement d'intensité dû à la variation de

(1) *La Lumière Électrique*, t. XIV, p. 475.
(2) *La Lumière Électrique*, t. XXXI, p. 116.

composition du gaz par une variation dans les dimensions de la flamme :

6° L'étalon au pentane de Vernon Harcourt, qui a l'avantage de brûler un gaz de composition constante.

Le problème qu'on s'est efforcé de résoudre avec tous ces étalons est de présenter dans des conditions déterminées et surtout faciles à réaliser toujours la même quantité de lumière. Les solutions ne peuvent être qu'approchées : les indications rapides que je viens de rappeler précisent dans quelle mesure [1]. Aucun de ces étalons ne peut servir pour les intensités très faibles, qui cependant offrent un intérêt pratique dans les problèmes de portées lumineuses des phares et d'éclairage de grands espaces (docks, entrepôts, etc.). J'ai dû me préoccuper de rechercher jusqu'à quel point le sulfure de zinc phosphorescent peut présenter les caractères que l'on exige de tout étalon photométrique. En toute rigueur, il eût été nécessaire de le comparer à l'étalon absolu; les moyens dont je dispose ne le permettant pas, je l'ai comparé à la bougie de l'Étoile, en m'attachant à avoir toujours une même hauteur de flamme et en prenant soin de nettoyer la mèche avant chaque expérience.

Il va sans dire qu'il n'y a pas lieu de compter sur un éclat maximum toujours le même pour le

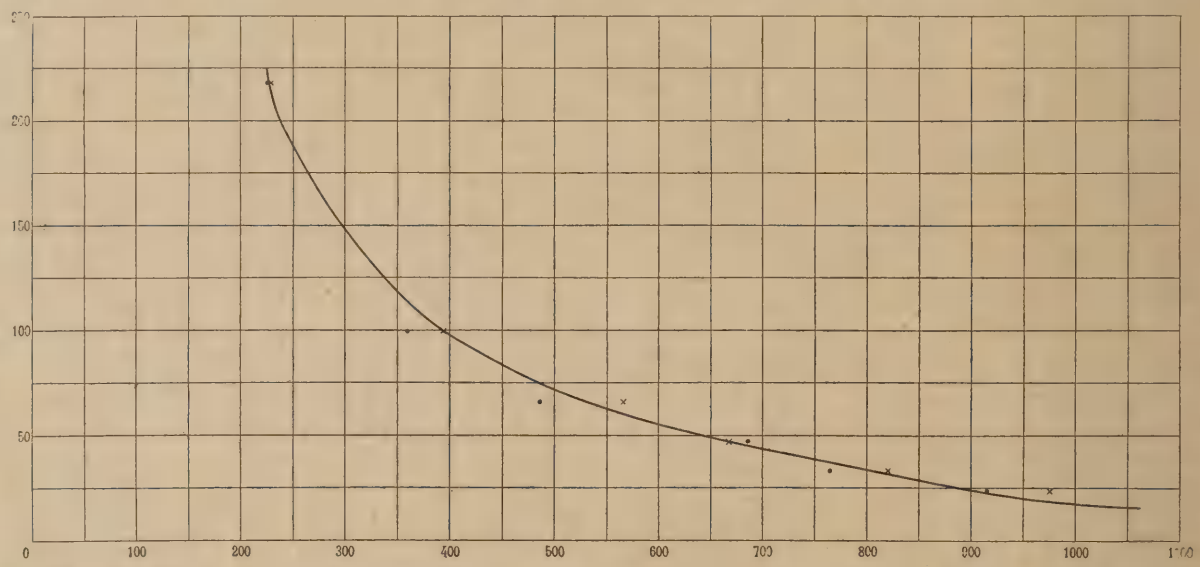


Fig. 2. — Courbe de la loi de déperdition du sulfure de zinc phosphorescent pour des épaisseurs moyennes.

sulfure de zinc phosphorescent; quoique, dans une fabrication normale, les différences soient insensibles d'une chauffe à l'autre, et que la loi de déperdition lumineuse soit la même, ainsi que je l'ai mentionné (§ 8). Il s'agit uniquement de voir dans quelles limites l'épaisseur de la couche, la distance du magnésium incandescent, la durée de l'illumination influent sur la saturation lumineuse de cet étalon, qui sera d'autant plus pratique, repéré soigneusement avec la bougie, que ces conditions n'auront d'influence que hors de certaines limites assez larges.

15. J'ai comparé la loi de déperdition d'épaisseurs de 0,45 mm. mesurées au palmer et avec des compas d'épaisseur munis de verniers à la formule vérifiée pour l'épaisseur de couche de l'écran phosphorescent de mon photomètre.

Les données directes de l'observation pour les intensités i aux temps t en secondes ont été, aux yeux de deux observateurs, les suivantes :

i	t		i	t	
218	229	227	47,4	686	668
100	360	394	33,2	765	820
66,5	486	567	24,2	915	975

La loi de déperdition est la même pour cette épaisseur deux fois plus faible, c'est-à-dire est toujours représentée d'une manière satisfaisante par l'équation

$$i^{0,598}(t + 28,35) = K.$$

C'est ce qui ressort du tableau suivant, calculé

[1] Voir Palaz, *Traité de photométrie industrielle.*

d'après la courbe figure 2, dans laquelle les abscisses représentent les temps et les ordonnées les intensités :

t	i	log (t + 28,35)	0,598 log i	0,598 log i + log (t + 28,35)
300	149	2,5162	1,297	3,813
400	98	2,6317	1,190	3,821
500	72	2,7228	1,112	3,835
600	55	2,7981	1,040	3,838
700	44	2,8623	0,981	3,843
800	34	2,9181	0,9149	3,833
900	24	2,9676	0,825	3,792

Des essais nombreux avec d'autres constantes ont donné des totaux moins constants.

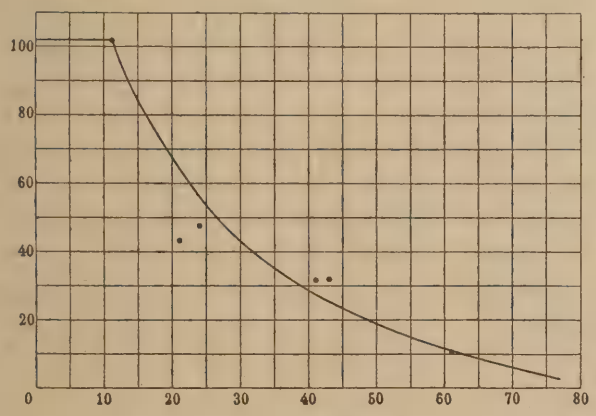


Fig. 3. — Courbe des variations de l'éclat du sulfure de zinc phosphorescent suivant la distance du ruban de magnésium.

16. Pour connaître l'influence de la distance du magnésium incandescent, j'ai fait brûler à des distances variables de l'écran phosphorescent de mon photomètre, dans deux séances différentes, un ruban de magnésium de 0,15 m. de long, de 0,0025 m. de large, de 0,00001 m. d'épaisseur, et je notai ensuite les temps différents au bout desquels il y avait identité entre l'éclat de cet écran et l'éclairement de l'écran translucide par une source d'intensité très faible (bougie munie d'un écran absorbant), située à une distance constante ; t_0 représentant la durée au bout de laquelle il y a égalité entre les deux écrans pour la distance 1 d'illumination du magnésium (= 0,026 m.), t_n représentant les durées au bout desquelles il y a égalité entre les deux écrans pour des distances différentes, il est facile de déduire des différences $t_0 - t_n$ par l'inspection de la courbe (§ 12) les éclats maxima de l'écran phosphorescent correspondant à ces distances du magnésium incandescent. J'ai obtenu pour les valeurs de ces intensités i aux distances d d'après l'observation directe

d	i	d	i	d	i
1	102	24	47,5	43	32,3
11	102	41	31,9	61	10,8
21	43,2				

Il s'est produit, comme on le voit, quelques perturbations dans ces expériences; elles doivent être attribuées sans doute à des variations dans la transparence de l'atmosphère. Si on fait passer une courbe (fig. 3) entre les différents points dont ces valeurs sont les coordonnées, portant les distances en abscisses, les intensités en ordonnées, on obtient les valeurs corrigées suivantes :

d	i	d	i	d	i
10	102	40	28	60	12
20	68	50	19	70	6
30	42				

Il ressort de la forme de cette courbe, qui a un contact prolongé avec une asymptote parallèle à l'axe des x, que l'éclat maximum du sulfure est dans une grande mesure indépendant de la distance de l'illumination.

17. Cette courbe permet de résoudre un problème physique intéressant : *Quelle est la relation entre la quantité de lumière reçue* q *par le sulfure de zinc phosphorescent et les valeurs relatives des éclats du sulfure* i_q *par rapport à l'éclat maximum* i_0 ?

Les quantités de lumière reçues sont les inverses des carrés des rapports des distances à la distance maxima, qui détermine encore l'éclat maximum du sulfure. La distance maxima qui détermine encore l'éclat maximum est 11, l'unité étant 0,026 m. ; prenons les intensités correspondantes aux distances 22, 33, 44, etc. ; les quantités de lumière reçue sont le 1/4, le 1/9, le 1/16, etc., de la quantité de lumière reçue à la distance 11. En général, calculons les rapports $\frac{11}{d^2}$, d étant un multiple de 11 ; marquons les points ayant ces quantités pour abscisses et les intensités correspondantes pour ordonnées,

nous obtenons la courbe (fig. 4), dont l'équation est de la forme

$$\frac{i_q}{i_Q} = 1 - e^{-\frac{q^m}{a}},$$

m étant égal à 0,893 et a à 10,1.

Si on choisit en effet deux observations

$$q_3 = 12 \quad i_{q3} = 61\,; \quad q_4 = 3 \quad i_{q4} = 23$$

assez éloignées respectivement des valeurs

$$q_1 = 34 \quad i_{q1} = 92\,; \quad q_2 = 10 \quad i_{q2} = 55$$

qui ont servi à calculer m et a, on trouve

$$\frac{i_{q2}}{i_Q} = 0{,}599 \text{ (val. obs.) et } \frac{i_{q4}}{i_Q} = 0{,}231 \text{ (val. obs.} = 0{,}236).$$

18. Le problème de l'influence de la durée d'illumination sur l'éclat maximum du sulfure, le magnésium étant à une grande distance ou sa lumière étant interceptée par des verres absorbants, sera abordé ultérieurement; il offre un intérêt pratique pour la détermination du temps de pose en photographie : il suffit pour le moment de constater que, pour l'épaisseur de couche de l'écran du photomètre et à des distances inférieures à 0,28 m., l'éclat maximum est indépendant de la longueur de ruban brûlé, la longueur étant supérieure à 0,15 m.

Bref, dans des limites assez étendues, et conséquemment dans des conditions faciles à réaliser, qui déterminent la saturation lumineuse, la quantité de lumière émise par le sulfure de zinc phosphorescent à un instant donné est indépendante de la distance du magnésium, indépendante du temps d'illumination, indépendante

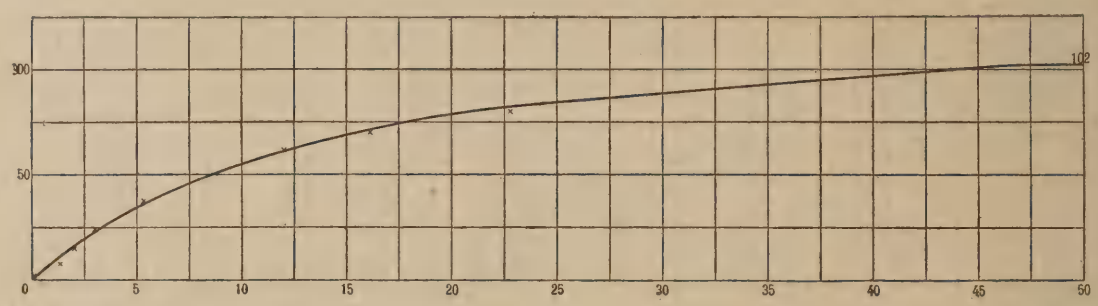


Fig. 4. — Courbe des variations de l'éclat du sulfure de zinc phosphorescent suivant la quantité de lumière reçue.

de l'épaisseur de couche du sulfure, en un mot, le sulfure de zinc phosphorescent présente au plus haut degré les caractères que l'on exige d'un étalon photométrique secondaire.

IV. — Le minimum perceptible de lumière.

19. J'ai appliqué à la mesure de mon minimum perceptible de lumière la formule asymptotique de la loi de déperdition lumineuse du sulfure de zinc

$$i^{0,8}(t - 18{,}5) = 1777{,}8,$$

qui est d'autant mieux vérifiée que les temps sont plus longs (§ 10).

J'ai noté le temps (4 heures) au bout duquel mon œil, après un séjour d'une heure dans l'obscurité, pouvait à peine distinguer l'intensité du sulfure de la lumière propre de la rétine.

Purkinje a excellemment décrit cette lumière propre « comme des bandes larges plus ou moins courbées, séparées par des intervalles noirs, qui tantôt se propagent, sous forme de cercles concentriques, vers le centre du champ visuel pour y disparaître, et tantôt se coupent en ce point sous forme d'arcs mobiles, ou bien encore tournent en cercle autour de ce centre en formant des rayons curvilignes. Leur mouvement est lent, de sorte qu'une semblable bande met ordinairement huit secondes à parcourir tout son trajet et à disparaître entièrement » (1). C'est avec son œil droit que cet éminent observateur voyait ces nébulosités : il avait l'œil gauche plus faible. Le fond visuel n'est jamais absolument noir; il présente des alternatives d'obscurcissement et d'éclaircissement qui suivent le même

(1) Helmholtz, *Optique physiologique*, trad. Klein et Javal, p. 274.

rythme que la respiration. Avec la fatigue les bandes deviennent une poussière lumineuse très fine, dont les éléments animés de mouvements très rapides s'évanouissent subitement après avoir laissé des traces lumineuses. Volkmann a trouvé cette lumière égale à celle d'une surface de velours noir éclairée par une bougie stéarique à 9 pieds de distance.

J'avais eu soin, pour diminuer l'attente, d'interposer entre l'écran phosphorescent et le magnésium dans mon photomètre quatre verres absorbants. Je pouvais m'assurer, en enlevant un verre, que la tache lumineuse perçue n'était pas une de ces lueurs rétiniennes. En désignant par $\frac{i}{d^2}$ l'éclairement de l'écran translucide équivalent à l'éclat du sulfure calculé par la formule asymptotique; en appelant α le coefficient moyen d'absorption des quatre verres pour des intensités très fortes du magnésium incandescent ($\alpha = 0{,}878$); β le coefficient moyen d'absorption des quatre verres pour des intensités très faibles, comparables à celles du sulfure ($\beta = 0{,}71$); λ le coefficient d'absorption de l'écran translucide du photomètre ($\lambda = 0{,}0324$) déterminé par la méthode du § 12, on a le minimum perceptible p par la relation :

$$p = \frac{i\alpha^4\beta^4\lambda}{d^2} = 29.10^{-9} \text{ bougies (29 milliardièmes de bougie).}$$

J'écris l'ordre de grandeur des milliardièmes, et non celui des cent millionièmes atteint par l'expérience, car je suis persuadé que des yeux entraînés à cet exercice fatigant pourraient atteindre les milliardièmes.

Je parle de bougie, car l'écran phosphorescent est une surface éclairante par elle-même (équivalente à l'éclairement de l'écran translucide) dont l'éclat est, dans les conditions de l'expérience, absolument indépendant de la distance. Dans le vide et si des facteurs physiologiques, sur lesquels nous insisterons plus tard, n'intervenaient, surtout pour les intensités faibles, l'éclat d'une surface serait indépendant de la distance, car l'intensité varie bien en raison inverse du carré de la distance, mais l'image rétinienne varie aussi, comme le diamètre apparent, en raison inverse du carré de la distance : l'éclat resterait donc constant.

Au moment où se produit le minimum perceptible, l'écran translucide, de surface S, recevrait un éclairement égal à $\frac{i\alpha^4\beta^4 S}{d^2}$: c'est une fraction de bougie-mètre; il devient une surface éclairante qui transmet seulement une fraction λ de la lumière incidente; la quantité de lumière transmise devient $\frac{i\alpha^4\beta^4 S\lambda}{d^2}$: c'est une fraction de bougie. Mais l'éclat est la quantité de lumière émise divisée par la surface; on a donc bien pour le minimum perceptible en bougie l'expression $\frac{i\alpha^4\beta^4 S\lambda}{d^2}$.

Le même nombre exprimé en bougie-mètre représente évidemment le minimum perceptible d'éclairement perçu sur la face de l'écran translucide opposée à la source.

20. On s'est préoccupé de déterminations du minimum perceptible de lumière dans les études pratiques des portées lumineuses des phares. Ces études sont consignées dans plusieurs publications officielles peu répandues, notamment dans le Mémoire de Léonce Reynaud sur l'éclairage et le balisage des côtes de France (1864, in-4°).

L'unité de lumière adoptée est la lumière d'une lampe Carcel dont le bec a 0,020 m. de diamètre et consomme 40 gr. d'huile de colza à l'heure.

Si les feux rayonnaient dans le vide, les portées seraient proportionnelles aux racines carrées des intensités; et de la distance à laquelle une intensité déterminée peut être perçue par un œil ordinaire, il serait facile de déduire la portée d'une intensité quelconque. Les portées sont considérablement diminuées par l'opacité de l'atmosphère et dépendent de la sensibilité de l'observateur.

Si L désigne l'intensité lumineuse à l'unité de distance, a la fraction de lumière reçue que laisse passer une tranche d'atmosphère d'épaisseur 1, λ le minimum perceptible à l'unité de distance dans une atmosphère complètement transparente, x la portée de l'appareil d'éclairage, on a $\frac{L}{x^2} = \lambda$ dans le vide et $\frac{La^x}{x^2} = \lambda$ dans l'atmosphère.

Des chiffres de Bouguer sur la quantité de lumière envoyée par la pleine lune de différentes hauteurs on déduit pour a dans une atmosphère sereine la valeur $a = 0{,}973$, le kilomètre étant l'unité.

Les ingénieurs du service des phares ont

cherché à déterminer a par des temps plus ou moins brumeux et à calculer λ. On cherchait les distances différentes auxquelles des observateurs de sensibilité moyenne cessaient de percevoir des appareils (lampes, bougies) dont on absorbait la lumière dans des rapports connus. A la rigueur, deux expériences bien faites eussent suffi pour déterminer a et λ; avec les quantités L', L'', x', x'', on aurait pu calculer ces nombres par les relations

$$\frac{L' a^{x'}}{x'^2} = \lambda = \frac{L'' a^{x''}}{x''^2}.$$

Pour plus de précision on multiplia les observations et on les résuma par une construction graphique.

De la relation

$$\frac{La^x}{x^2} = \lambda$$

on tire

$$\log \frac{L}{x^2} = x\,(-\log a) + \log \lambda.$$

Si l'on représente chaque observation par un point ayant pour abscisse la valeur trouvée pour x et pour ordonnée celle de $\log \frac{L}{x^2}$ qui lui correspond, tous les points appartenant à une même expérience, c'est-à-dire pour une même transparence de l'atmosphère, devront être situés sur une ligne droite dont l'angle avec l'axe des x aura $-\log \alpha$ pour tangente trigonométrique et dont l'ordonnée à l'origine sera égale à $\log \lambda$. Cette ordonnée devra être la même pour toutes les droites. Ces différentes lignes viennent en effet rencontrer toutes en un même point l'axe des y : la hauteur de ce point de concours donne la valeur $\log \lambda = -2$, d'où $\lambda = 0{,}01$, ce qui revient à assigner au minimum perceptible d'éclairement la valeur d'un cent millionième de carcel-mètre ou de huit cent millionièmes de bougie (10^{-7} bougie-mètre environ).

Ce nombre a un intérêt surtout pratique. Tous les observateurs n'étaient pas d'accord pour constater la disparition des feux : des becs de gaz étaient allumés sur le périmètre du Champ-de-Mars, le théâtre des expériences, et, comme le fait observer Léonce Reynaud, « le contraste ainsi que la fatigue éprouvée par des gens qui n'avaient cessé de fixer des lumières plus ou moins intenses avait dû nuire à la délicatesse des perceptions. » Le savant ingénieur montre ensuite, d'après des observations faites dans les phares, que cette valeur de λ ne peut être considérée comme un minimum : il en déduit des valeurs inférieures de λ dans la double hypothèse de $a = 0{,}973$ et de $a = 1$. Il remarque que, si on adopte le coefficient de Bouguer, toutes les observations, sauf une, conduisent à des chiffres notablement inférieurs à 0,01 et qu'une d'elles fait descendre λ au-dessous de 0,007, quand même on admettrait une transparence absolue de l'air. Enfin ces chiffres sont des *maxima*, car les lumières étaient signalées comme très brillantes. En un mot, la valeur 0,01 doit être considérée comme une limite supérieure du minimum perceptible pour des yeux normaux, exposés à des éclairements faibles et non adaptés préalablement à l'obscurité.

A fortiori, en est-il de même de l'éclairement trois cent fois moindre environ que celui de la pleine lune, valeur qu'Aubert a assignée au minimum perceptible par une méthode fondée sur les rétrécissements d'un diaphragme (1). L'éclairement de la pleine lune sur l'écran translucide de mon photomètre a été trouvé de 0,272 bgm : Bouguer l'a évalué à 0,2073 bgm. En admettant que la quantité de lumière transmise par cet écran n'est que les 0,03 de la lumière incidente (2), il en résulte pour l'intensité perçue environ la valeur de 0,008 bougie, qui, divisée par 300, devient 0,0000267 bougie et, pour le minimum d'éclairement, d'après le § 19, le même nombre en bougie-mètre. Dans les étalonnages successifs de sources de plus en plus faibles au moyen de photomètres fondés sur la loi du carré de la distance les erreurs se multiplient avec le nombre des opérations. Dans les mesures fondées sur la diaphragmation des objectifs on commet une erreur relativement considérable sur la quantité très petite qu'on mesure avec une graduation nécessairement resserrée.

(1) « Die Beleuchtung des Papierstreifens durch ein helles Quadrat = 6,25 $m\overline{m}^2$ in 5,5 Metres Entfernung würde aber etwa 300 mal schwächer sein, als die Beleuchtung desselben durch die Vollmond, wenn man die Helligkeit der Glasscheibe gleich der Helligkeit des Mondes setzt. » Hermann Aubert, *Physiologie der Netzhaut*, Breslau, 1865, p. 46.

(2) L'écran dont je me suis servi pour cette mesure était un papier vert huilé pressé entre deux verres; je lui ai substitué un écran composé de trois verres dépolis colorés; les pouvoirs absorbants de ces deux écrans sont en tout cas peu différents.

Mon nombre, 29.10−9 bougie, n'est que le quintuple environ de 6.10−9 qu'Edmond Becquerel a indiqué, mais avec une réserve bien naturelle, l'ayant obtenu par extrapolation à trente heures de la formule

$$i^{0,806}(t+2,83)=2,83$$

vérifiée pendant 4780" pour le sulfure de strontium. Le nombre d'Edmond Becquerel est 0,0000000067. « En supposant que l'éclat du soleil soit 50000 fois celui d'une bougie, et en prenant la lumière solaire pour unité, on voit que l'œil peut comparer des intensités lumineuses comprises entre des limites qui dépassent 1 et 10^{11} et que lorsqu'un observateur est placé dans l'obscurité pendant quelque temps, il peut

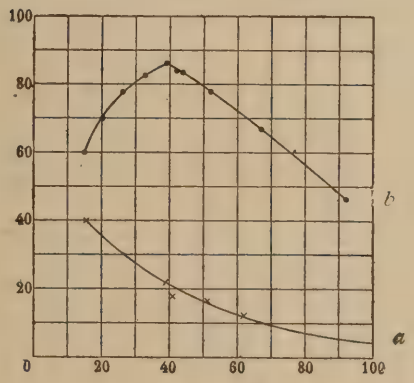


Fig. 5. — Courbe des variations de la sensibilité suivant l'éclairage auquel l'œil est adapté (d'après M. Charpentier).

saisir encore de faibles traces lumineuses dont l'intensité est inférieure à une fraction qui aurait pour numérateur l'unité et pour dénominateur l'unité suivie de 13 zéros, c'est-à-dire 10^{13} (1). »

Mon nombre est 2,7 fois plus petit que les $\lambda = 8.10^{-8}$ bougies-mètre du service des phares. Comme cette dernière valeur était estimée trop forte par les ingénieurs qui l'ont calculée, on peut considérer la concordance comme à peu près parfaite et mon nombre comme extrêmement approché de l'exactitude pour un œil ordinaire.

21. Cette conclusion ressortira mieux encore des calculs par lesquels je vais résumer les expériences de M. A. Charpentier (2).

(1) Ed. Becquerel. *La Lumière*, t. I, p. 297.

(2) *La Lumière et les couleurs au point de vue physiologique*, Paris, J.-B. Baillière, 1888.

Les photomètres-photoptomètres que ce physiologiste a employés dans ses recherches sont fondés sur le principe de la diaphragmation des objectifs, posé par Bouguer :

« Si l'on forme avec une lentille convergente une image réelle d'une source lumineuse, et si l'on fait varier l'ouverture de l'objectif par un diaphragme, l'éclairement de l'image est proportionnel à la surface d'ouverture du diaphragme, pourvu que cette ouverture soit toujours très petite vis-à-vis de sa distance au foyer lumineux. »

Le modèle auquel il s'est arrêté est un tube de cuivre noirci à son intérieur, ayant 5 centi-

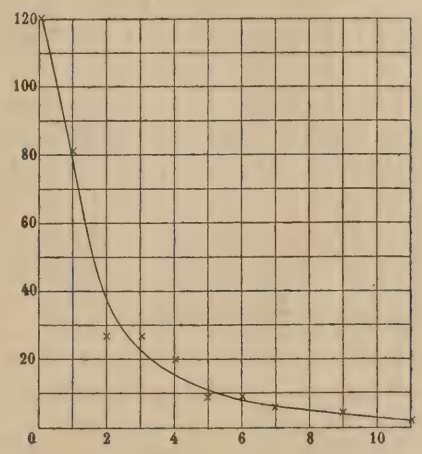


Fig. 6. — Courbe des variations du minimum perceptible suivant le séjour de l'œil dans l'obscurité.

mètres de diamètre environ et une longueur totale de 22 centimètres. Au milieu est placée la lentille ou un système de deux lentilles de 11 centimètres de foyer séparées par le diaphragme : aux deux extrémités sont des verres dépolis. Le jeu du diaphragme a pour résultat de découvrir un carré variable dont le centre est fixe devant le centre optique de la lentille. Les éclairements sont proportionnels à ces carrés, et les longueurs des côtés sont indiquées par une graduation extérieure. Pour les expériences exigeant l'obscurité absolue, l'œil est enfoncé dans une coquille noircie terminant un tube de 20 centimètres environ de longueur qu'on adapte à l'instrument.

C'est avec cet appareil que M. Charpentier a étudié l'influence de l'éclairage ambiant sur la sensibilité lumineuse et l'influence de la durée du séjour dans l'obscurité sur les variations du minimum perceptible.

Par une journée de ciel très pur il fixe pendant cinq minutes le plancher du laboratoire : c'est l'éclairage 1 ; puis il détermine le minimum perceptible par le minimum d'ouverture du diaphragme nécessaire pour déterminer une sensation lumineuse. Il place ensuite successivement devant son œil pendant 3 minutes six verres fumés dont les pouvoirs absorbants avaient été préalablement déterminés. Ce temps de 3 minutes avait été reconnu suffisant pour obtenir une valeur sensiblement fixe du minimum perceptible. Après adaptation à chacun de ces éclairages et finalement à l'obscurité, il détermine son minimum perceptible.

En prenant les inverses des carrés des ouvertures du diaphragme on a les valeurs relatives de la sensibilité lumineuse correspondant à chaque éclairage. Si l'on fait passer une courbe (fig. 5, *a*) par les points dont les coordonnées sont les valeurs obtenues dans ces expériences; si, portant en ordonnées les inverses des minima perceptibles s, en abscisses les éclairages i, et donnant la valeur 100 à l'éclairage maximum, l'on calcule les produits is, on remarque que,

	s	is	i	s	is	i	s	is
15	40	600	37	23	851	44	19	836
20	35	700	**39**	**22**	**858**	52	15	780
26	30	780	40	21	840	67	10	670
33	25	825	42	20	840	92	5	460

pour une assez grande échelle des intensités, $is = K$ sensiblement, c'est-à-dire que la sensibilité varie en raison inverse de l'éclairage auquel l'œil a été adapté.

Il ressort encore du tableau que le produit is présente un maximum; la courbe (fig. 5, *b*) présente en ordonnées les produits is et en abscisses les i correspondants. Puisque la quantité $is = \frac{i}{\frac{1}{s}} = \frac{i}{p}$ a un maximum pour $i = 39$, on a, pour ce point,

$$d(si) = 0,$$

ou

$$i\frac{ds}{di} + s = 0,$$

ce que l'on peut écrire

$$-\frac{ds}{s} = \frac{di}{i}.$$

Posons $-ds = \delta s$; pour les intensités plus petites que 39, puisque les produits is croissent, on a

$$i\frac{\delta s}{di} + s > 0, \text{ d'où } \frac{\delta s}{s} < \frac{di}{i};$$

pour les intensités plus grandes que 39, puisque les produits is décroissent, on a

$$i\frac{\delta s}{di} + s < 0, \text{ d'où } \frac{\delta s}{s} > \frac{di}{i}.$$

Le décroissement relatif de la sensibilité est donc ou plus petit, ou plus grand que l'accroissement relatif de l'excitation, ou bien lui est égal, suivant que l'excitation a une valeur ou plus petite ou plus grande que cette valeur de $\frac{39}{100}$ de l'éclairement d'un beau jour (50 bougies-mètre environ) ou égale à celle-ci.

Pour revenir à la question de l'étendue des variations de la sensibilité lumineuse suivant l'éclairage, M. Charpentier admet qu'elle peut varier de 1 à 1000.

Les expériences sur les variations du minimum perceptible suivant la durée du séjour de l'œil dans l'obscurité sont résumées et corrigées par la courbe figure 6, dont les ordonnées représentent les valeurs relatives des minima perceptibles, et les abscisses les durées évaluées en minutes. D'après le tableau suivant, dont les données sont empruntées à la courbe, on peut conclure que de 3′ à 11′ les variations du minimum perceptible p suivant la durée t sont passablement bien représentées par la formule $t^2 p = K$.

t	p	$\sqrt[2]{p}$	$tp^{\frac{1}{2}}$	t	p	$\sqrt[2]{p}$	$tp^{\frac{1}{2}}$
1	81	9	9	7	6	2,45	17,15
2	36	6	12	8	5	2,23	17,84
3	23	4,8	14,4	9	4	2	18
4	15,5	3,8	15,2	10	3	1,73	17,3
5	11	3,3	16,6	11	2	1,41	15,51
6	8	2,8	16,92				

Après 20 minutes environ, la décroissance du minimum perceptible est ordinairement insignifiante, d'après M. Charpentier; « c'est au moins, dit-il, ce qu'on peut admettre dans la pratique. » La restriction devait être faite, car j'ai constaté des accroissements de sensibilité

après des temps plus longs au cours de mes études sur la phosphorescence.

Une conséquence physiologique de ces derniers faits et qui peut avoir des conséquences pratiques : si notre rétine est inégalement sensible à la lumière dans ses diverses parties, cela tient à ce qu'elles sont inégalement excitées par suite de la position des sources d'éclairage, des ombres portées, etc.; ce sont les moins excitées qui sont le plus sensibles. Après un séjour suffisant dans l'obscurité la sensibilité est répartie uniformément sur toute la surface de la rétine, sauf le centre, la tache jaune, qui est toujours la partie la plus sensible.

CHARLES HENRY.

ETALON SECONDAIRE POUR LA PHOTOMÉTRIE DES LAMPES A ARC

Dans la dernière séance de la Société internationale des électriciens, à propos du futur Congrès de l'Exposition de Chicago, M. Blondel a présenté un étalon secondaire destiné à la photométrie des lampes à arc (1).

Jusqu'ici il a été extrêmement difficile, sinon impossible, de définir d'une manière tant soit peu précise l'intensité photométrique d'une lampe à arc.

Les raisons en sont bien connues : tous ceux qui ont fait des mesures d'arc savent en effet combien il est pénible d'égaliser les deux sensations produites par la lumière de l'arc et par celle des lampes étalons actuellement employées.

La valeur relative de ces sensations dépend dans une large mesure de la conformation de l'œil de l'observateur, des dimensions et de l'éclairement des plages observées.

D'autre part, en admettant même qu'on ait, par un procédé quelconque, égalisé deux lumières de teintes différentes pour une certaine valeur objective de l'éclairement, l'égalité disparaît quand cette valeur objective change.

Enfin, si deux éclairements sont égalisés par la comparaison de deux surfaces diffusantes, ils ne le seront pas en même temps au point de vue de l'acuité visuelle, c'est-à-dire de la distinction nette des détails ou de la lecture.

Il est donc impossible de définir d'une manière satisfaisante la lumière d'une lampe à arc en fonction des étalons actuels, et on ne pourra obtenir ce résultat, qu'à l'aide d'un étalon de même teinte ayant aussi pour origine un arc électrique.

La méthode qu'il convient d'employer à cet effet, et dont le principe consiste à isoler sur le cratère positif d'une lampe à arc une surface d'émission donnée, demande quelques explications.

M. Abney (1) et tout récemment M. Violle ont successivement démontré la constance de la composition spectrale de la lumière du cratère, et par suite la constance de la température indépendamment de l'intensité du courant.

La constance de la température de l'arc avai du reste déjà été établie par M. Rossetti, et le professeur Silvanus Thompson en avait trouvé l'explication dans la vaporisation du carbone à la surface de passage, vaporisation qui exige une dépense d'énergie constante et se fait à une température fixe.

Mais il n'a pas été établi jusqu'ici que l'éclat intrinsèque de la surface du cratère fût indépendant de la densité et de l'état moléculaire des charbons employés; il ne suffit pas en effet de réaliser une température constante pour avoir un éclat constant; il faut en outre que le pouvoir émissif reste indépendant de l'état moléculaire, et l'on sait que cette condition est loin d'être remplie dans les lampes à incandescence.

(1) Les expériences relatives à cet étalon ont été exécutées au laboratoire central de la Société des électriciens avec l'aide de M. Guiard et la nôtre.

(1) *Arc lamps and their mechanisms*, by Prof. S. P. Thompson, *a paper read before the Society of Arts*, march 6, 1889. Les travaux du capitaine Abney sur ce sujet auraient fait l'objet d'un rapport au Ministre de la Guerre anglais. Le savant d'outre-Manche aurait employé en outre pour réaliser un étalon spécial, un procédé analogue à celui appliqué par M. Blondel. Bien que le rapport du capitaine Abney n'ait point été publié et qu'aucun traité n'en fasse mention, M. Blondel a cru devoir signaler la priorité de celui-ci dans cette voie. Nous ferons remarquer cependant que le point de vue auquel M. Blondel s'est placé est sensiblement différent, ainsi que la loi qui lui sert de point de départ.

L'expérience pouvait seule donner une réponse sur ce sujet. Dans ce but, MM. Le Chatelier et Blondel ont, au moyen de l'ingénieux pyromètre imaginé par le premier, exécuté une série de mesures d'éclat intrinsèque dans les conditions les plus diverses de voltage et d'intensité, sur des charbons de nature et de composition très différentes. Contrairement à ce qu'avaient tout d'abord pensé MM. Le Chatelier et Blondel, toutes les valeurs d'éclat qu'ils ont observées sont restées sensiblement concordantes; les écarts constatés ont toujours été irréguliers et en tout cas de l'ordre de grandeur des erreurs d'expériences malheureusement assez grandes. Dans la limite de précision qu'ils ont pu obtenir, la conclusion des expériences fut la suivante : pourvu que le charbon employé soit suffisamment pur, c'est-à-dire débarrassé des matières minérales susceptibles d'abaisser son point de volatilisation (excepté dans la mèche), l'éclat intrinsèque de la zone d'éclat maximum du cratère positif semble pratiquement constant, non seulement quel que soit le courant, mais aussi quels que soient l'état moléculaire et la densité des crayons employés.

Dans les conditions précédentes, le cratère présenté par le charbon positif jouit des principales propriétés nécessaires à la constitution d'un étalon d'intensité lumineuse, à la seule condition d'isoler une surface d'émission donnée située sur la zone d'éclat maximum.

D'autre part, le charbon incandescent suivant la loi d'émission de Lambert, il n'est pas nécessaire que l'émission ait lieu normalement à la surface incandescente.

Cela posé, M. Blondel a établi un appareil réalisant cet étalon sous une forme pratique et susceptible d'un maniement aussi simple qu'un étalon ordinaire. Cet appareil se compose essentiellement d'une lampe à charbons obliques, à point lumineux réglable et d'un écran vertical muni d'un diaphragme variable.

La lampe employée et qui se prête bien à cette application, est une lampe de projecteur de MM. Sautter et Harlé, dont les crayons sont tous deux inclinés d'un angle d'environ 20 à 30° par rapport à la verticale; grâce à cette obliquité, le cratère positif situé sur le charbon supérieur, présente une surface inclinée également de 60° par rapport à la verticale, et qu'il est facile de dégager complètement du crayon inférieur en donnant à l'arc un écart de 4 à 5 millimètres [1].

L'écran opaque qui constitue en réalité l'appareil a été construit par M. Werlein. Il est formé par une petite boîte plate coudée en son milieu et continuellement refroidie en son intérieur par un courant d'eau froide, de la même manière que pour l'étalon Violle; il peut se déplacer horizontalement en face de l'arc le long de deux tiges formant glissières et fixées à la base de la lampe.

Il est percé à la hauteur du coude d'un petit trou conique, derrière lequel peut tourner un diaphragme muni d'un certain nombre d'ouvertures de dimensions connues. Un a une section de 1 mm², un autre une section de 2 mm². Un troisième a un diamètre de 1/10 de mm. Trois autres trous, dont l'un est muni d'une lentille, sont destinés l'un à démasquer complètement l'ouverture et les deux autres à réaliser une condition que nous indiquerons plus loin.

Si l'on trouvait le refroidissement par l'eau froide trop gênant, on pourrait remplacer l'écran métallique par un écran de porcelaine réfractaire.

L'un des trous du diaphragme est placé à la hauteur du centre du cratère et à une distance de 2 à 3 centimètres de celui-ci. On obtient ainsi un faisceau lumineux conique divergent, ayant pour centre le petit trou et pour base le cratère; son intensité suivant la direction horizontale est égale à l'éclat intrinsèque de la portion correspondante du cratère multiplié par la surface de de l'ouverture employée.

La source lumineuse ainsi réalisée, et à laquelle M. Blondel donne le nom d'*arc étalon*, s'emploie de la même manière qu'un étalon photométrique quelconque : il suffit de placer la lampe à une extrémité du banc photométrique de façon que le trou du diaphragme soit à la même hauteur que le centre de l'écran d'un photomètre d'un type quelconque : Bunsen, Foucault, Mascart, etc. Une seule condition est à réaliser, mais elle est indispensable, c'est que les rayons horizontaux tombant sur le photomètre proviennent bien de la portion d'éclat maximum du cratère, la seule qui donne une lumière con-

[1] On pourrait aussi, mais moins commodément, employer une lampe à crayons verticaux, avec un écran oblique en ajoutant un miroir pour renvoyer le faisceau horizontalement. Mais il faudrait alors tenir compte du coefficient de réflexion de celui-ci.

stante. Dans ce but il est nécessaire de prendre les précautions suivantes :

Il faut tout d'abord réaliser un cratère assez grand, bien régulièrement et, autant que possible, uniformément éclairé. On y arrive en employant une tension suffisamment élevée pour assurer une très bonne stabilité, c'est-à-dire au moins 70 à 75 volts aux bornes extrêmes comprenant la lampe et son rhéostat, et en outre une densité de courant d'au moins 0,2 ampère par millimètre carré.

Par exemple des crayons de 15 millimètres, 75 volts, 40 ampères et 5 millimètres d'écart ont donné de très bons résultats, mais on pourrait se contenter de crayons de 10 millimètres avec 25 ampères, pourvu qu'ils soient de bonne qualité.

En second lieu, il est important de vérifier avant chaque lecture que la lumière reçue par le photomètre est bien émise par la portion la plus brillante du cratère ; cette opération se fait très aisément en amenant derrière l'ouverture de l'écran la petite lentille dont la longueur focale a été choisie de façon que le cratère soit à son foyer. On peut alors recevoir une image très agrandie et bien nette de l'arc sur un écran vertical placé en avant ou en arrière du photomètre et voir dans quelle partie de l'image celui-ci est placé. L'image du crayon positif se projette sous la forme d'une ellipse claire dont la longueur peut atteindre plusieurs mètres, et dont le bord supérieur se détache nettement sur fond noir. Quand la lampe fonctionne bien, ce bord est toujours éclairé au maximum, et c'est dans cette portion de l'image que doit se trouver le photomètre. On emploie en général des charbons sans mèche, mais on peut employer des charbons à mèche, à la seule condition d'éviter que l'image plus sombre de cette mèche ne se projette sur le photomètre.

Ce réglage se fait très facilement en orientant la lampe convenablement, et en déplaçant ensuite l'arc dans le sens de la hauteur au moyen de la manivelle disposée à cet effet sur la lampe. Aussitôt après le réglage, on enlève la lentille, on ramène sur le trou de l'écran l'ouverture en mince paroi de surface connue, et l'on fait la lecture au photomètre.

L'éclairement *moyen* produit sur celui-ci est constant, mais il présente autour de cette moyenne de petites vibrations rapides, dues soit à des variations dans le phénomène de vaporisation, soit à l'effet de la flamme qui passe devant le cratère. On pourrait facilement chasser celle-ci et concentrer encore plus nettement l'arc vers le bord du cratère en plaçant convenablement à proximité un aimant directeur assez puissant.

Les variations précédentes ne permettraient pas de faire de cet appareil un étalon absolu au même titre que l'étalon de M. Violle ; mais, pour mesurer des lampes à arc dont la lumière présente le même caractère que celle de l'étalon, mais à un degré beaucoup plus élevé, et subit en outre des variations d'intensité moyenne très importantes et continuelles, l'emploi de l'arc-étalon ne saurait soulever aucune objection. D'ailleurs, les manipulations et le réglage en sont des plus simples. Il est donc à espérer que le Congrès de Chicago voudra bien l'examiner et prendre en considération la proposition suivante présentée par M. Blondel à la Société des électriciens :

« Il y aurait lieu, dans le but de faciliter les mesures photométriques des lampes à arc en leur donnant une base plus comparable que les flammes ordinaires, d'adopter, *dans ce cas spécial seulement*, un étalon *secondaire* particulier dit *arc-étalon*, défini comme l'intensité lumineuse d'une surface donnée de carbone pur portée à la température de volatilisation, et réalisé de la manière indiquée plus haut.

« La valeur moyenne de cet étalon secondaire en fonction de l'étalon Violle serait établie une fois pour toutes dans des conditions bien définies, c'est-à-dire pour une série de valeurs absolues connues de l'éclairement.

« Quant aux mesures, elles seraient toujours exprimées en bougies décimales, en ajoutant la mention : (*d'après l'arc-étalon*). »

F. Guilbert.

SUR

QUELQUES NOUVEAUX FOURS ÉLECTRIQUES

Dans une communication à l'Académie des sciences [1], MM. Moissan et Violle viennent de

[1] *Comptes rendus*, 13 mars 1893.

présenter le four qu'ils ont employé dans leurs récentes recherches, four que nous avions sommairement décrit dans ce journal (1). L'arc jaillit dans un creuset formé par un morceau de tube de charbon fermé à sa partie inférieure par une plaque de charbon du diamètre du tube. Deux échancrures pratiquées sur les bords supérieurs laissent passer les électrodes.

Le creuset est placé dans un bloc de pierre calcaire (pierre de Courson) séché lentement à une douce chaleur et dans lequel on a creusé une cavité. Il est inutile d'employer la chaux, qu'il est difficile de se procurer en gros morceaux. MM. Deville et Debray avaient déjà du reste employé la pierre calcaire au lieu de la chaux pour fondre le platine au chalumeau.

Le creuset ne doit pas reposer immédiatement sur la pierre; il est séparé de celle-ci par une

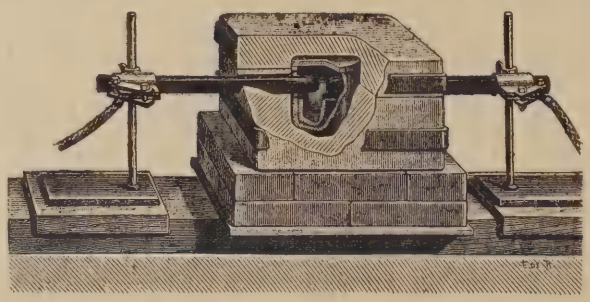


Fig. 1. — Four de MM. Moissan et Violle.

couche d'air de 5 mm. et soutenu par des cales en magnésie.

Les dimensions de l'appareil dépendent évidemment de la puissance du courant. Pour 300 à 500 ampères, le creuset a 6,5 cm. de diamètre sur autant de hauteur. Les électrodes de charbon ont de 3 à 3,5 cm. de diamètre. Pour faire les creusets et les électrodes, on s'est servi d'agglomérés de charbon de cornue et de goudron sans acide borique. Le bloc de pierre a environ 20 cm. de hauteur, 25 cm. de largeur et 30 cm. de longueur, il est fermé par un couvercle de 4 à 5 cm. d'épaisseur. Les électrodes de charbon, disposées horizontalement, sont supportées par des pinces montées sur des chariots permettant leur rapprochement facile.

Les raccords des charbons avec les câbles d'amenée du courant sont faits par des manchons de cuivre armés de vis de serrage.

(1) *La Lumière Electrique*, t. XLVII, p. 317.

Les figures 1 et 2 montrent les fours construits par MM. Tresca et Nion. La figure 1 est le four qui a servi aux recherches de M. Moissan (préparation des carbones, fusion des métaux, réduction des oxydes de chrome, de vanadium, d'uranium, de magnésium, etc).

La figure 2 indique la disposition prise par M. Violle pour la mesure calorimétrique de la température de l'arc électrique (1).

Le creuset de charbon et l'enceinte de pierre sont percés d'une ouverture au-dessous de laquelle on place le calorimètre. Une plaque mobile en forme de tiroir obture cette ouverture pendant le chauffage.

Un des charbons est creux, le charbon posi-

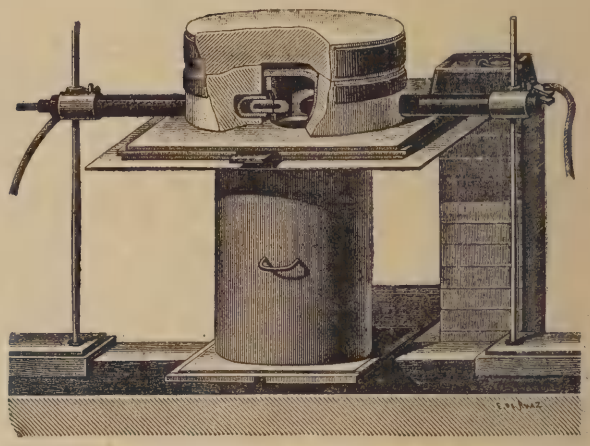


Fig. 2. — Mesure de la température de l'arc.

tif; on y engage un petit fragment de charbon, poussé par une baguette de même substance, qui prend alors la température de l'arc et qu'on peut alors faire tomber dans le calorimètre.

La température obtenue a pour limite celle de l'arc; en restreignant le champ calorifique, on arrive au maximum de 3500°. En augmentant ce champ la température s'abaisse, mais on peut pratiquement obtenir des températures encore supérieures à 3000°.

Nous reviendrons sur le four électrique de MM. Ducretet et Lejeune (2), qui permet, comme nous l'avons vu, d'opérer les réactions électrothermiques dans des gaz inertes, et de voir ce qui se passe dans l'arc, parce qu'il vient de servir à MM. Joly et Vèzes pour fondre des métaux difficilement fusibles et facilement oxydables.

(1) *Comptes rendus*, tome CXV, page 1273.
(2) *La Lumière Electrique*, t. XLVII, p. 429.

En disposant des dynamos du Laboratoire central d'électricité, on a pu fondre avec ce four 2 kilogrammes de ruthénium par portions de 30 grammes environ. En faisant passer un courant lent d'acide carbonique dans le four, le métal obtenu est blanc, tandis qu'en opérant dans l'air, malgré la rapidité de la fusion, le métal est toujours oxydé. Au chalumeau oxhydrique, le métal s'oxyde en fondant; on n'obtient alors que de très petits globules, avec des pertes notables dues à la volatilité des oxydes.

L'osmium a pu de même être fondu en petits lingots d'une teinte bleue, dans un courant d'acide carbonique, sans aucune perte par oxydation : Deville avait vainement essayé de fondre l'osmium. Avec le chalumeau, le métal s'oxydait et se vaporisait à l'état d'acide osmique; aussi, disait-il en 1859 (1) que pour fondre l'osmium « il faudrait chauffer ce métal dans le vide et au moyen d'un arc voltaïque puissant ».

Comme on le voit en ce moment, dans les laboratoires c'est une véritable mode de se servir et d'aménager des fours électriques. C'est avec eux que M. Moissan a réussi à préparer pratiquement et sur une assez vaste échelle l'uranium, le molybdène, le tungstène, le vanadium, métaux qui vont recevoir d'ici peu une application dans l'affinage des aciers, et dont quelques échantillons vont figurer à l'Exposition de Chicago; c'est encore avec les fours électriques que M. Joly vient de fondre le ruthénium et l'osmium, que M. Le Chatelier a pu réaliser élégamment sous pression la cristallisation du carbonate de chaux.

En particulier, l'étude des réactions à hautes températures et sous pression, commencée avec des fours électriques par M. Cailletet, il y a déjà plusieurs années (2), semble appelée à donner des résultats.

M. Saladin vient de présenter pour cette étude un nouveau four électrique pour chauffage sous pression (3). Comme dans le galvano-cautère, c'est une spirale de platine chauffée par le courant, continu ou alternatif, qui forme le mouffle d'une enceinte en terre réfractaire contenue dans un bloc étanche en acier fondu pouvant supporter des pressions allant jusqu'à 1000 atmosphères.

La spirale de platine est disposée pour recevoir un petit creuset de platine, de charbon ou de porcelaine. Une tubulure mise en communication avec une pompe, comme dans l'appareil de Cailletet rappelé plus haut, amène le gaz ou le liquide comprimé (eau, hydrocarbure, gaz divers).

La mesure des températures de l'enceinte est possible au moyen du couple thermo-électrique Le Chatelier, dont les deux fils, convenablement

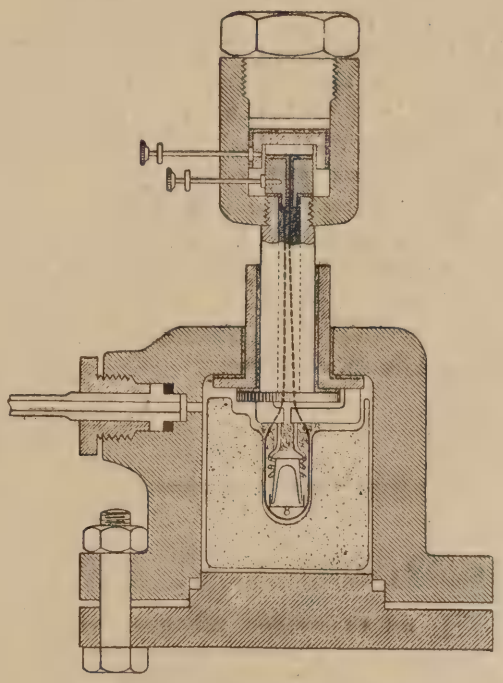


Fig. 3. — Four sous pression Saladin.

enveloppés avec de l'amiante, sont supportés par des pièces isolées qui traversent le bloc d'acier. Les températures obtenues peuvent aller jusqu'à 1500 et 1800°. M. Saladin fait judicieusement remarquer que les règles ordinairement admises pour l'intensité maxima à donner au courant à faire circuler dans la spirale de platine sont très notablement changées dans ces expériences; la densité du gaz ou la conductibilité du liquide ou de la vapeur au-delà du point critique des matières qui sont dans l'appareil permettent de lancer dans la spirale des courants d'une intensité très supérieure à celle qui serait admissible dans les conditions ordinaires. Les joints sont la difficulté de l'appareil.

(1) *Annales des mines*, t. XVI.
(2) *La Lumière Électrique*, t. XLVI, p. 517.
(3) *Bull. Soc. chimie*, 5 mars 1893, p. 133.

On interpose sur les pièces de contact des papiers enduits de gutta-percha ou de glu marine.

La figure 3 indique la construction de l'appareil, sur lequel l'auteur ne donne aucun détail. On comprend du reste très bien avec la figure comment, avec les prises de courant latérales, le courant arrive dans la spirale de fil de platine.

Avec cet appareil M. Saladin a essayé de répéter les expériences de Hannay (1880) sur la production du diamant par dissolution du carbone dans les métaux fondus, par la décomposition pyrogénée de la paraffine et des hydrocarbures; toutes ces expériences faites sous pression.

Avec cet appareil M. Saladin a même obtenu un peu d'un carbure rayant le corindon en chauffant la paraffine sous une pression de 600 kilog., répétant ainsi une expérience contestée de Parsons en 1889 (*Soc. Roy.* de Londres), qui avait ainsi obtenu une matière très dure rayant même le diamant. On voit que cet appareil, avec lequel l'auteur compte poursuivre ses recherches, est disposé pour produire les conditions favorables à l'obtention du carbone cristallisé de M. Moissan.

A. Rigaut.

CHRONIQUE ET REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

Ampèremètre Illig (1893).

Le fonctionnement de cet appareil est le suivant.

Quand l'intensité du courant augmente, le solénoïde *s* abaisse son aiguille indicatrice, à ressort J, en même temps que la bille K, entre le pendule H et la lame B, d'une quantité proportionnelle à cette intensité.

A chaque minute, l'horloge Z envoie dans l'électro E un courant qui fait pivoter son armature T, laquelle entraîne le pendule H de l'angle permis par la position de la bille K, c'est-à-dire, d'un angle proportionnel à l'intensité actuelle du courant. Ce mouvement est transmis par un mécanisme à rochet *tu* à un compteur enregistreur M, puis le dashpot L ramène le pendule H à sa position primitive, jusqu'à une nouvelle émission de l'horloge Z.

On peut, par expérience, donner à la lame B, par les vis *a*, une courbure telle que les amplitudes de H soient, à chaque instant, rigoureusement proportionnelles aux densités.

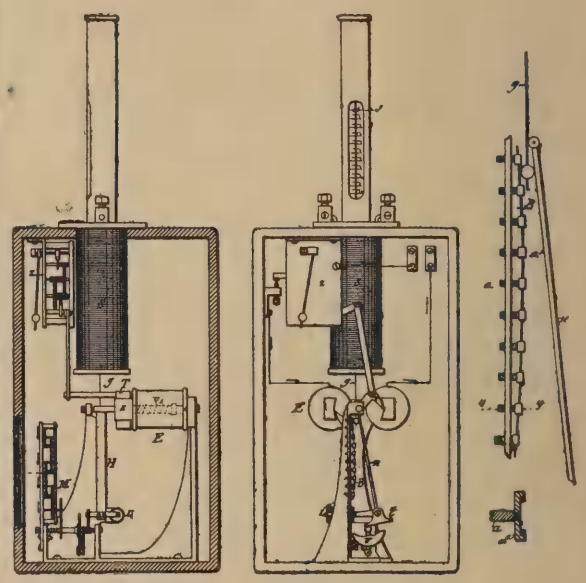


Fig. 1. — Ampèremètre Illig.

Quant à l'armature T de E, elle est reliée au pendule H par un ressort v_1, qui lui permet une course indépendante de celle du pendule H, et dont on utilise l'excès au remontage perpétuel de l'horloge Z.

G. R.

Coupe-circuit E. Thomson (1893).

Quand le coupe-circuit est fermé par l'abaissement de son bras K (fig. 1), le courant passe de F' en F par les contacts A B C D, en quantité, au travers des auto-inducteurs ou impédances E E_1 E_2... Quand on rompt successivement ces contacts en relevant le bras R, l'impédance des bobines E_1 E_2... fait que l'intensité du courant n'augmente pas à chaque rupture successive de D en A : si l'intensité locale est de 400 ampères, par exemple, l'impédance des enroulements E E_1... fait que, si la levée du levier K est assez rapide, chacune des ruptures s'opère sous une intensité d'environ 100 ampères, au lieu de 100 ampères en D, 200 en C, 200 en B, 400 en A.

En figure 2 les contacts A et B sont reliés à la ligne F par les bobines $E^5 E^6$, enroulées en sens contraire, de manière à n'exercer normalement aucun effet, tandis que leur impédance s'exerce comme précédemment celles de $E E_1$.. dès que s'opèrent les séparations successives de A et de B d'avec K F'. Les impédances peuvent, comme l'indique la figure 5, s'enrouler sur un anneau, ou en circuit magnétique fermé.

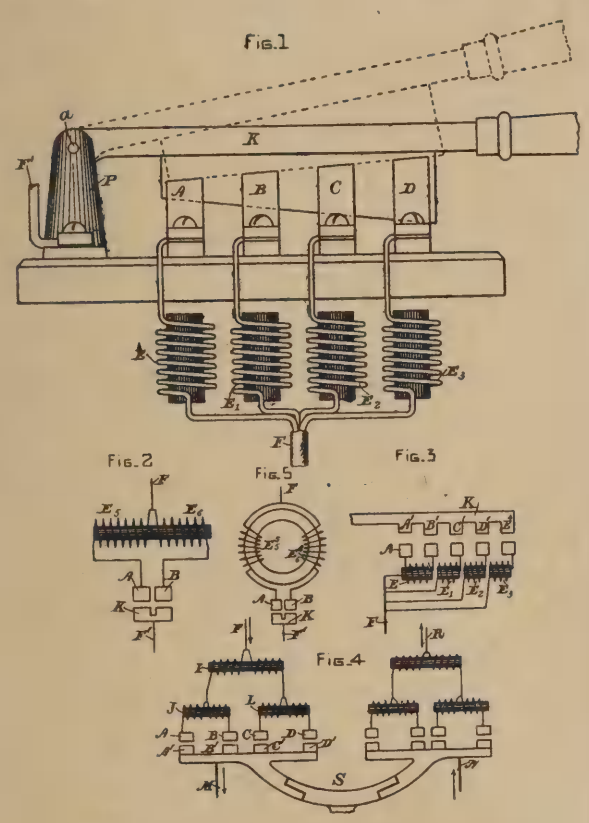


Fig. 1 à 5. — Coupe-circuit E. Thomson.

En figure 3 les impédances E E'... décroissent de A en A'.

En figure 4 le coupe-circuit est double, le courant entraîné par F M et revenant par N R au travers des contacts à impédances étagées I J L, analogues à celles de la figure 2.

G. R.

Ampèremètre enregistreur Weston (1893).

Le principe de cet ingénieux appareil est le suivant :

Supposons (fig. 1) que le courant à mesurer, d'intensité I, traverse de *b* en *a* un quadrant A, de résistance R, avec une dérivation de faible résistance par le fil *b* et l'aiguille B. Comme la résistance R varie avec la position de l'aiguille sur le quadrant, il suffira si l'on veut conserver, malgré les variations de l'intensité du courant passant, par exemple, de I à I', la même chute de potentiel $E = R I = R' I'$ dans le shunt *b c* B, il suffira, dis-je, de faire que l'aiguille B se dé-

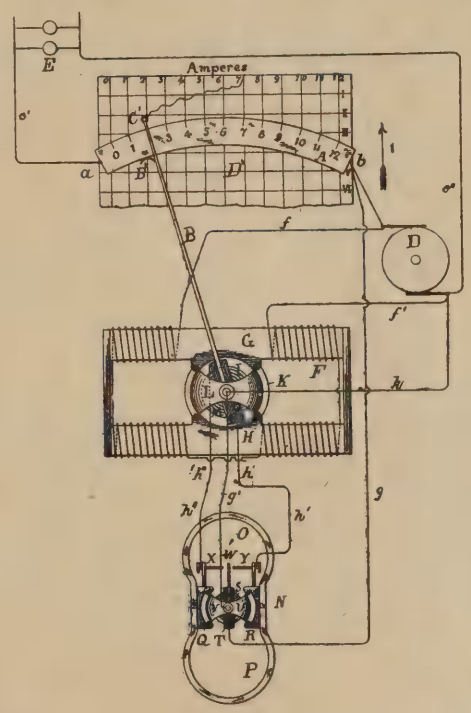


Fig. 1. — Ampèremètre enregistreur Weston.

place alors de *a* en *d* d une quantité telle que l'on ait

$$\frac{a\,b}{d\,b} = \frac{R'}{R} = \frac{I'}{I}.$$

Réciproquement, si on réalise cette condition, la position de l'aiguille sur A indiquera à chaque instant l'intensité du courant.

Le courant à mesurer, partant de la dynamo D parcourt, dans les diverses parties de l'appareil, les quatre circuits suivants (fig. 1 et 2) :

Le circuit n° 1 part de l'un des balais de la dynamo, et va, par *e*, au quadrant A, puis au circuit extérieur *e'*, d'où il revient à la dynamo par *e''*.

Le circuit n° 2 va par *f* aux enroulements F de l'ampèremètre G, d'où il revient par *f'* à la dynamo.

Le circuit n° 3 va de *b*, par *g*, à la bobine à fils

fins T de N, puis, par son pivot V et g', au pivot L de la bobine de F, à son bras B B' et au quadrant A.

Le circuit n° 4 va de la dynamo, par h, aux enroulements opposés J et J' de la bobine J de F, où il se bifurque, par h' et h'', aux bornes X et Y de N.

Supposons, à l'origine, l'aiguille B en a et l'aiguille W de N en équilibre entre les bornes X et Y, et, en outre, le ressort M de F assez faible pour que l'aiguille B reste indifféremment en un point quelconque sur A.

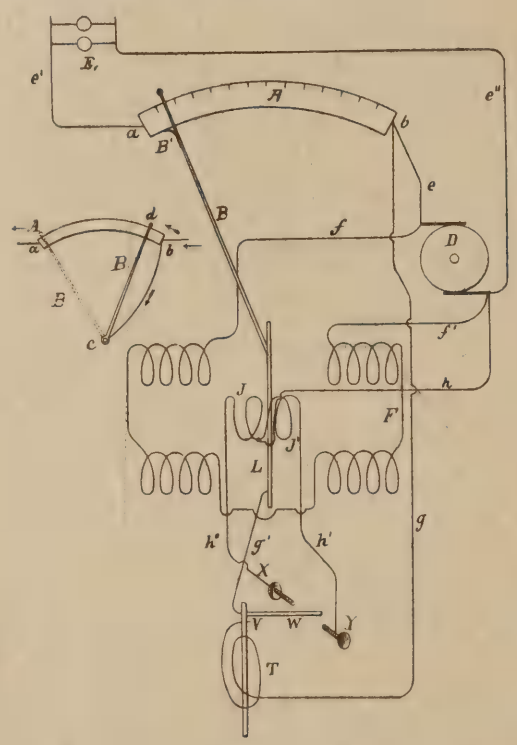


Fig. 2. — Ampèremètre enregistreur Weston.

Quand l'intensité du courant augmente, la bobine T amène W sur Y, ce qui ferme le circuit h' J' h, de sorte que J' fait avancer l'aiguille B de a vers b, de manière à raccourcir la longueur de A comprise dans le shunt (3) et à ramener ainsi E à sa valeur primitive, valeur pour laquelle W quitte Y, rompt la dérivation, et laisse l'aiguille B au point correspondant de A, gradué expérimentalement en ampères.

Devant la pointe c' de l'aiguille B, se déroule uniformément un papier sur lequel s'inscrivent ainsi les ampères-heures.

Si, au contraire, l'intensité du courant diminue en g, l'aiguille W vient en X, et ferme le circuit sur l'enroulement J, qui ramène l'aiguille B de b vers a, jusqu'au rétablissement de l'équilibre correspondant à la nouvelle valeur de l'intensité. G. R.

Commutateur Goold (1893).

Dans la position figuré du bras 15, le circuit, fermé de 19 à 19 par le contact de la plaque 18 du disque isolé 8 avec les touches 6 et 3, est coupé des lampes 20. Quand on tourne le bras

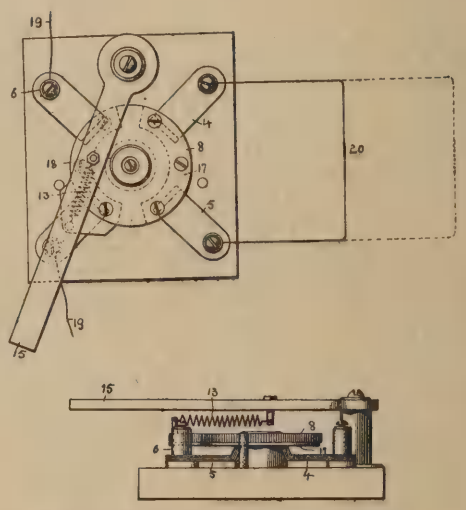


Fig. 1 et 2. — Commutateur Goold.

vers la droite, le ressort 13 se tend graduellement, puis fait vivement pivoter le disque 8, de manière à amener la plaque 18 sur 19 et 6, et la plaque 17 sur sur 4 et 19, mettant ainsi les lampes en circuit. G. R.

La téléphonie à grande distance et la loi de Preece.

Dans l'adresse inaugurale lue par M. Preece à l'Institution des ingénieurs électriciens, de Londres, et que nous venons de publier, nos lecteurs auront remarqué le passage où l'éminent électricien se plaint que la mode est de contester à la loi du produit C R la valeur qui lui était attribuée jusqu'ici. On sait que d'après cette loi la transmission téléphonique est d'autant meilleure que le produit C R de la capacité par la résistance de la ligne est plus faible; au-delà d'un certain maximum de ce produit, maximum fixé par M. Preece à environ 15 000, la transmission serait impossible. Des nombres beaucoup

plus forts ayant été trouvés pour la nouvelle ligne de New-York à Chicago, M. Preece en conteste l'exactitude.

Dans son numéro du 18 février, l'*Electrical World* répond à ce passage du discours de M. Preece par les lignes suivantes, que notre impartialité nous incite à reproduire.

Les assertions dogmatiques de M. Preece sur la théorie de la téléphonie à longue distance ne seront peut-être pas très discutées en Angleterre, où la téléphonie à grande distance est, par la nature des choses, impossible. Mais en Amérique ces assertions ne satisferont pas ceux auxquels le sujet est familier, surtout parce que les chiffres donnés à l'appui sont inexacts. Pour M. Preece, avec sa loi C R dans une main et la livre sterling de la Trésorerie britannique dans l'autre, il convient très bien de parler de circuits téléphoniques construits avec une tonne de cuivre par mille; mais les compagnies téléphoniques américaines doivent récolter des dividendes, et on comprendrait difficilement qu'elles se servent d'un fil de 170 kilogrammes au kilomètre, là où un fil de 122 kilogrammes suffit.

L'emploi d'un fil de 170 kilogrammes entre New-York et Chicago eût augmenté le coût de la ligne de près de 250 000 francs pour le cuivre seul. Le fait que l'on obtient une bonne transmission entre Boston et Chicago sur une ligne dont la longueur atteint plus de 1900 kilomètres est une ample preuve que les dimensions du fil employé étaient suffisantes.

M. Preece croit que la transmission par la ligne New-York-Chicago n'est pas aussi bonne que par la ligne Paris-Londres. Il y a des personnes qui ont essayé les deux et qui les trouvent également bonnes. Le jour de l'ouverture de la ligne New-York-Chicago, une conversation à voix basse a pu être tenue entre les deux villes sans difficulté aucune.

La formule pour la transmission téléphonique à laquelle M. Preece tient tant, et qu'il appelle une loi, n'a jamais été acceptée d'une façon générale et n'a pas eu l'honneur d'être classée parmi les lois fondamentales ou les formules dont on peut déduire des valeurs absolues. Dès le début, beaucoup de personnes ont nié son applicabilité. C'est une formule empirique, déduite d'expériences faites dans les premiers jours de la téléphonie, avant les récents perfectionnements apportés aux appareils, aux lignes et aux méthodes. Sans doute, la résistance et la capacité du circuit sont des facteurs à considérer dans la limitation de la transmission téléphonique, mais ce ne sont pas les seuls, et nous inclinons à penser que la loi vraie est encore à trouver.

M. Preece exprime dans sa loi que si C R (capacité totale $\times$ résistance totale) atteint 15 000, la conversation téléphonique est impossible. Il dit que cette loi a permis à Paris de causer avec Londres. Si elle avait été appliquée chez nous de la même manière dont elle a été appliquée jusque dans ces derniers temps, elle aurait certainement empêché New-York (pour ne pas parler de Boston) de communiquer téléphoniquement avec Chicago.

La méthode originale pour calculer le C R d'un circuit métallique était de multiplier la capacité totale par la résistance totale et de diviser par 4, la capacité d'une boucle isolée étant prise comme le quart de la capacité de la ligne totale par rapport à la terre. On arrive au même résultat en multipliant la capacité totale d'une des branches par sa résistance totale.

Calculé de cette façon, le produit C R de la ligne Paris-Londres est d'environ 7500, celui de la ligne New-York-Chicago est de 33 000 et celui de la ligne Boston-Chicago de près de 54 000. Pourtant New-York et Boston parlent avec Chicago avec la même facilité que Londres avec Paris.

La confiance que l'on pouvait avoir dans la « loi C R » a été détruite par les modifications que M. Preece y a lui-même apportées. Elle était originairement basée sur la formule bien connue de Thomson pour déterminer les dimensions du conducteur et du diélectrique d'un câble sous-marin relativement à la vitesse de transmission des signaux. Cette formule n'a, toutefois, pas de signification en ce qui concerne la transmission téléphonique; les impulsions téléphoniques, quoique encore peu connues, le sont assez pour que l'on sache qu'elles sont d'une nature tout autre que les signaux télégraphiques.

Comme nous l'avons dit, la méthode primitive pour le calcul de CR était de multiplier la capacité totale par la résistance totale; et pour la transmission de la parole le produit devait se tenir au-dessous de certaines limites bien définies. Pour un circuit comprenant des câbles,

M. Preece met la limite de CR à 8000. Mais lorsque la ligne Paris-Londres, avec une valeur de CR proche de ce nombre, donna une transmission meilleure qu'on ne l'espérait, il sentit que la formule en question ne tenait plus. Il trouva que l'effet était dû à ce que dans un circuit métallique uniformément équilibré (surtout avec les deux branches tordues ensemble) l'inertie électromagnétique pouvait être entièrement négligée ; de plus, une quantité très secourable, M, due aux extra-courants de la grande capacité du câble sous-marin, survint pour éliminer C partiellement.

M. Preece donna à M une valeur de 0,0047 microfarad par kilomètre, le retrancha de C, et fit sauter cette dernière quantité de 0,0095 à 0,0047 microfarad par kilomètre. Depuis cette découverte, qui il y a environ un an fit descendre le CR de la ligne Paris-Londres à environ 5000, M s'est évidemment accru, puisque M. Preece donne maintenant 0,0031 microfarad par kilomètre pour le C de cette ligne. R ne rencontre pas de facteur éliminatoire, et l'on ne peut enlever au pont de Wheatstone ses ohms, mais M. Preece est évidemment libre de disposer à son gré de C, et il met la capacité de la ligne New-York-Chicago à 0,0025 microfarad par kilomètre, coupe ce reste encore en deux, et obtient CR = 7500, « résultat parfaitement concordant » etc.

Il est surprenant que M. Preece puisse dire que 0,0098 microfarad par kilomètre est « absurdement élevé », puisque dans son mémoire sur la ligne Paris-Londres, lu au meeting de Cardiff de l'Association britannique, en 1891, il donne une capacité de 0,0095 microfarad par kilomètre pour le fil de 112 kg par km entre Londres et Douvres. Cela se passait, il est vrai, avant que M ne surgît de la Manche pour démolir C. Il faut remarquer que dans ce mémoire M est attribué à la grande capacité du câble sous-marin placé au milieu de la ligne Paris-Londres. Mais dans la ligne New-York-Chicago il n'y a que deux à trois kilomètres de câble sous-marin au point terminus New-York. D'où provient donc, dans ce cas, M, qui abaisserait C de 0,0095 à 0,0025 microfarad par kilomètre?

Il est naturellement très facile de faire tenir une loi ou une formule sur ses jambes en introduisant de nouveaux facteurs pour chaque cas particulier, et c'est ce qu'a fait M. Preece. Mais à la façon dont la loi a été maintenue jusqu'ici, on peut inférer qu'il faudra bientôt donner à C une valeur négative pour maintenir CR entre ses limites. M. Jacques avait adopté le procédé peut-être moins scientifique, mais plus simple, de multiplier sa limite par 10, et met maintenant CR à 45000 pour une bonne transmission avec un transmetteur Hunning. De cette façon il sera toujours aisé d'être un peu plus avancé que le plus long circuit en service.

Il est tout à fait évident que CR n'est pas une formule capable de guider les téléphonistes. Les principes sur lesquels est basée la transmission téléphonique n'ont pas été soumis à des investigations méthodiques, tout au moins n'a-t-on pas publié de résultats palpables d'une telle investigation. Il y a là un champ splendide pour le chercheur, et il n'est pas douteux que nous connaîtrons un jour les lois fondamentales de la transmission téléphonique.

La ligne téléphonique entre Boston et Chicago, qui vient d'être inaugurée, passe par New-York, et comprend plus de trois kilomètres de câble sous-marin et environ cinq kilomètres de câble souterrain. La ligne aérienne, un peu supérieure en longueur à 1900 kilomètres, est en fil de cuivre de 4 millimètres de diamètre, pesant 122 kilogrammes au kilomètre. Le produit CR, d'après l'ancienne méthode de calcul, est de 54000. D'après la nouvelle nous ne pouvons dire ce qu'il serait; pour le déterminer il serait nécessaire d'obtenir de M. Preece la valeur convenable de C, qu'il mettrait probablement à 0,002 microfarad par kilomètre, ou moins.

La transmission sur la ligne est très bonne, et aux cérémonies d'ouverture même les personnes peu accoutumées à l'usage fréquent du téléphone ont pu parler avec Chicago sans aucune difficulté. La ligne New-York-Chicago a plusieurs fois servi à transmettre des discours, même reliée avec des circuits souterrains de plusieurs kilomètres de longueur, ce qui devait augmenter CR. Pourtant 40 personnes munies chacune d'un récepteur purent écouter simultanément les discours prononcés à Chicago. Tout abonné de New-York peut parler aisément avec Chicago, quelle que soit la longueur de son circuit souterrain. Il faut remarquer que dans le calcul du CR de ces lignes on n'a pas tenu compte de la capacité et de la résistance des

commutateurs, des parafoudres, etc. Si on les faisait entrer dans le calcul, le produit CR serait considérablement augmenté.

A. H.

REVUE DES TRAVAUX
RÉCENTS EN ÉLECTRICITÉ

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du 17 mars 1893.

M. Ducretet présente à la Société un four électrique de laboratoire destiné à la fusion rapide des métaux et dans lequel il fait fondre en quelques secondes, devant la Société, de petits culots de ruthénium à l'aide d'un arc de 25 à 30 ampères. Cet appareil a déjà été décrit dans le journal [1]; nous n'avons donc pas à y revenir.

Nous ajouterons cependant que pour préserver l'opérateur de la chaleur produite par l'arc, il est bon d'employer un écran athermane, de préférence une glace au gélatino-bromure fortement développée ou une cuve contenant une dissolution d'alun.

M. Guillaume rappelle à ce sujet que le journal *Nature* avait, il y a quelques années, posé la question suivante : Quelle est de la dissolution d'alun ou de l'eau pure celle qui arrête le mieux les rayons calorifiques? La réponse fut que les deux agissent à peu près au même degré, avec une petite différence en faveur de l'eau ordinaire, ce qui aurait dû enlever un préjugé qu'on semble avoir conservé. M. Ducretet répond que l'action de la cuve d'alun est très sensible, quel que puisse être d'ailleurs le résultat de mesures plus précises.

M. Frédureau, empêché, est remplacé par son collaborateur M. de Coïncy, pour la présentation de globes auxquels il donne le nom de « globes diffuseurs transparents. »

Pour remédier à l'effet désagréable produit sur les yeux par la lumière de l'arc et pour renvoyer la lumière vers le pied de la lampe, qui, suivant M. Frédureau, a le plus besoin de lumière, on a jusqu'ici employé les deux procédés suivants :

On dispose les arcs de manière à croiser leurs directions d'intensité lumineuse maxima, ce qui oblige le plus souvent à employer un nombre d'arcs plus grand qu'il n'est nécessaire en réalité.

Ou encore on emploie des globes en verre dépoli, en opale, ou en opaline, qui diffusent la lumière, mais l'absorbent en grande quantité.

Les globes de M. Frédureau sont construits dans le but de remédier aux inconvénients signalés. Ils se composent en principe d'enveloppes en verre ou en cristal transparent, munies sur leur surface extérieure d'anneaux prismatiques parallèles, dont les faces sont de révolution autour d'un axe vertical.

Ils sont destinés à produire :

1° La concentration de la lumière vers la zone de l'espace situé au-dessous du foyer par réflexion sur les faces supérieures des anneaux;

2° La diffusion par les réfractions et réflexions diverses produites par l'action des anneaux les uns sur les autres.

M. de Coïncy indique en particulier deux systèmes différents :

Dans l'un, les faces supérieures sont des paraboloïdes de révolution ayant pour foyer commun le point lumineux au centre du globe; les faces inférieures sont planes et perpendiculaires à l'axe, de sorte que les rayons réfléchis par les faces supérieures sortent perpendiculaires aux faces inférieures et par suite sans réfraction.

Dans le second les faces supérieures sont des surfaces coniques formant avec les rayons issus du foyer un angle au moins égal à l'angle limite; les faces inférieures qui, pour éviter toute dispersion devraient être des tores, sont simplement des surfaces coniques ayant le point lumineux pour sommet.

Dans ces conditions, le point lumineux est transformé pour l'observateur en un faisceau plus ou moins large et d'une longueur égale à celle du globe. Les rayons lumineux sont réfléchis dans la zone inférieure de l'espace sans dispersion en donnant un cône inférieur de lumière, ce qui peut évidemment avoir un avantage dans certains cas pour l'éclairage privé, mais qui semblera plutôt un inconvénient pour l'éclairage public.

[1] *La Lumière Electrique*, 18 février 1893, p. 317.

Enfin, le reste de la lumière est diffusé dans l'espace, évitant ainsi les ombres excessives.

Ces enveloppes au lieu d'être taillées peuvent être moulées sous pression, de manière que les arêtes des anneaux prismatiques soient suffisamment vives. Le prix de leur fabrication est évidemment supérieur à celui des globes dépolis, mais elles permettraient d'obtenir, d'après leur inventeur, un résultat que les globes dépolis ne peuvent donner et d'économiser les pertes considérables occasionnées par l'absorption de ceux-ci.

Ces globes auraient aussi l'avantage de modifier la tonalité de la lumière et de la rendre moins fatigante pour les yeux.

M. de Coïncy montre en terminant l'effet produit par les globes de M. Frédureau sur les lampes à arc et à incandescence, ainsi que de jolies enveloppes de couleurs variées, et de petits projecteurs applicables à la production de signaux.

M. A. Blondel, sans vouloir critiquer l'intéressant exposé de M. de Coïncy, ni les ingénieux appareils de M. Frédureau, fait remarquer que ceux-ci peuvent réaliser une distribution de la lumière conforme au desideratum spécial de leur auteur, mais qu'ils ne présentent pas à proprement parler l'effet de *diffusion*, au sens ordinaire du mot. Il rappelle qu'une enveloppe est dite « diffusante » quand elle transforme en chacun de ses points un pinceau de rayons incidents presque parallèles en un faisceau conique très divergent, dont la composition se représente à l'aide d'une indicatrice de diffusion, d'après la méthode bien connue. Grâce à cet effet, l'emploi d'une enveloppe de ce genre permet de substituer à une source éblouissante une surface lumineuse plus étendue et d'éclat beaucoup plus faible.

En même temps les enveloppes diffusantes augmentent l'effet d'illumination : les globes très clairs, qui réduisent les pertes de lumière, ne produisent souvent aucun bénéfice réel au point de vue de l'éclairement apparent, parce que la pupille soumise à un éclat plus vif se diaphragme davantage.

Malheureusement les globes ordinaires absorbent, comme on le sait, une quantité de lumière d'autant plus grande qu'ils sont plus diffusants, et modifient d'une manière souvent désavantageuse la loi de distribution naturelle des rayons émis par certaines sources, ainsi que le montrent les courbes photométriques relevées par M. Blondel sur des arcs à courants alternatifs ou continus avec différents types de globes.

On peut éviter le premier inconvénient sans renoncer au principe de la diffusion, en substituant à la diffusion naturelle la *diffusion dioptrique*, c'est-à-dire, en employant une enveloppe de verre transparent couverte d'un réseau de petits éléments réfracteurs divergents, produisant sur toute la surface du globe une infinité de petits points lumineux très faibles et très rapprochés, qui paraissent presque confondus en une seule surface lumineuse. Une solution très ingénieuse de ce problème, obtenue à l'aide de cannelures orthogonales sur les deux faces des enveloppes, a été indiquée, dès 1883, par M. Pelham Trotter, mais celui-ci n'a pas cependant su éviter complètement les pertes de lumière que peuvent produire les enveloppes en verre transparent elles-mêmes quand on omet certaines précautions. Une autre solution fondée sur l'emploi d'éléments lenticulaires estampés sur la surface extérieure a été récemment imaginée par M. Psaroudaki, qui avait en outre retrouvé la première sans connaître les travaux de M. Trotter. Enfin, M. Blondel en a imaginé une troisième, consistant dans l'emploi de surfaces doublement ondulées, ou gaufrages à double courbure.

On peut en second lieu, si on ne préoccupe pas de la diffusion, distribuer la lumière suivant telle ou telle loi donnée à l'aide d'anneaux parallèles, de types variés, placés à la surface des enveloppes. C'est ainsi que M. Frédureau emploie des anneaux catadioptriques à profils paraboliques ou rectilignes éclairant vers le bas, et que M. Trotter a employé des anneaux dioptriques calculés d'après un profil unique, comme les lentilles à échelons, de façon à distribuer la lumière uniformément sur le sol jusqu'à la limite de la portée. Les anneaux de M. Trotter sont en outre combinés avec des cannelures intérieures, de manière à produire en même temps la diffusion dans le sens horizontal seulement.

M. Blondel estime que chacune de ces solutions peut trouver des applications suivant les circonstances et les besoins particuliers, mais que dans beaucoup de cas elles n'assureraient pas la diffusion suffisante. C'est pour associer celle-ci d'une manière parfaite avec la distribu-

tion suivant une loi quelconque qu'il a poursuivi en collaboration avec M. Psaroudaki l'étude des trois types de réfracteurs mentionnés plus haut; le résultat de ce travail a été la détermination de deux systèmes de globes : l'un qui est un perfectionnement du système Trotter, ainsi que la Société a pu en juger par le modèle placé sous ses yeux; l'autre, dont le principe est absolument nouveau et qui donne sensiblement les mêmes résultats. Tous deux présentent à l'œil non une ligne lumineuse comme les appareils de M. Frédureau, ou une croix lumineure comme les globes de M. Trotter, mais une large surface éclairante couvrant le globe presque jusqu'aux bords. Les courbes photométriques relevées expérimentalement au laboratoire central d'électricité, montrent en outre qu'ils répartissent la lumière d'une manière plus avantageuse que les globes opalins actuellement en usage.

F. G.

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS [1]

Séance du 1er mars 1893.

M. Guillaume pense, avec raison, qu'il n'appartient pas à un congrès libre, comme celui qui va avoir lieu à Chicago, de discuter sur une question aussi spéciale que la fixation de la valeur des unités. Il est nécessaire qu'une pareille question soit étudiée et résolue par voie diplomatique.

Il relève ensuite une appréciation un peu erronée donnée dans le Bulletin de la société relativement à la définition de l'ampère proposée par le comité du Congrès. L'ampère y est défini, comme on le sait, « l'intensité du courant invariable qui, en passant dans une solution d'azotate d'argent dans l'eau, titrée conformément aux spécifications recommandées dans le récent rapport au Board of Trade dépose l'argent au taux de 0,001118 par seconde. » Il y a lieu de soulever ici, disait le Bulletin, cette objection que le dépôt est rapporté à un poids au lieu de l'être à une masse. M. Guillaume fait remarquer qu'il n'y a là aucun doute possible et qu'il s'agit forcément de gramme-masse, d'après la façon même dont les mesures sont effectuées.

M. Guillaume rappelle les définitions du *gilbert*, du *weber* et du *gauss* proposées comme unités pratiques de force magnétomotrice, de flux magnétique et d'intensité magnétique.

Le weber a déjà été appliqué à une unité d'intensité, mais son usage ayant à peu près complètement disparu, il n'y aurait aucune ambiguité de ce côté à accepter le nom de weber pour l'unité pratique de flux magnétique.

Il essaie ensuite d'interpréter la définition par trop compliquée de l'inductivité, sur laquelle Blondel avait déjà appelé l'attention. Cette définition est en effet des plus obscures, bien qu'exacte ; on ne peut guère la vérifier qu'en se rappelant et en écrivant la formule reliant la perméabilité à la susceptibilité magnétique

$$\mu = 1 + 4\pi x$$

où on remplace ensuite x par sa valeur $\frac{I}{H}$, ce qui donne

$$\mu = 1 + \frac{4\pi I}{H},$$

expression dont la définition proposée est la traduction. Encore était-il nécessaire que le projet du comité nous apprît que l'inductivité est synonyme de perméabilité, sans quoi il eût fallu une tension d'esprit assez forte pour retrouver la perméabilité dans l'inductivité.

M. Guillaume propose d'employer des mots terminés en « ance » pour désigner une propriété de la matière. Nous avons déjà la résistance; nous aurions aussi la conductance, etc. des mots en « bilité » désigneraient une propriété d'un point de la matière; nous aurions ainsi la résistibilité, etc.

Ces deux propositions nous paraissent de tout point acceptables, et elles permettraient au moins de se comprendre.

Il entre ensuite dans quelques considérations sur la cohérence des systèmes d'unités électrostatiques et électromagnétiques qui peut être établie, dit-il, en rétablissant certains coefficients que Maxwell a fait égaux à l'unité pour la simple raison qu'il ne pouvait faire autrement. Il est probable que M. Guillaume reviendra prochainement sur cette question intéressante, que nous nous pourrons traiter alors plus longuement.

A propos de la valeur exacte de l'ohm, dont la valeur semble définitivement être très voisine

[1] *La Lumière Electrique*, du 18 mars 1893.

de 106,3, il remarque que tout récemment il a eu l'occasion de constater que les boîtes de M. Carpentier, par suite de la lente modification qu'elles subissent avec le temps, sont de plus en plus voisines de la valeur vraie pour la température indiquée.

C'est là un fait qu'on est heureux d'enregistrer, car il existe malheureusement en électricité peu d'appareils sur lesquels on puisse faire une semblable remarque.

M. Hospitalier donne lecture d'une lettre de *M. Potier*, contenant quelques observations des plus judicieuses sur les nouvelles unités pratiques.

En ce qui concerne le weber, unité pratique de flux magnétique, non seulement sa nécessité ne se fait aucunement sentir, mais encore il est beaucoup trop grand par rapport aux quantités à mesurer. Pour l'inductivité, elle est à laisser complètement dans l'oubli, et la perméabilité employée universellement doit être conservée définitivement.

M. Hospitalier est du même avis que M. Potier au sujet du weber, qui nécessiterait dans la plupart des cas l'emploi d'une virgule et d'un cortège de zéros, source fréquente d'erreurs faciles à commettre.

Après un échange d'observation entre les trois orateurs précédents, la suite de la discussion est renvoyée à la prochaine séance.

F. G.

SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE DE LONDRES

Séance du 10 février 1893.

Communication de *M. E.-C. Baly* sur *la séparation et la stratification des gaz raréfiés sous l'influence de la décharge électrique.*

En examinant au spectroscope un tube raréfié contenant une faible quantité d'hydrogène, l'auteur a remarqué que les raies de l'hydrogène étaient fortement visibles dans la lueur négative, mais ne pouvaient être vues dans le corps du tube. Cette observation fut confirmée par l'examen d'autres tubes et semblait indiquer une séparation des gaz dans le tube. D'autres expériences montrèrent que les stries étaient dues à cette séparation.

En employant un double tube contenant un mélange d'acide carbonique et d'hydrogène, les deux branches du tube étant réunies par une partie très mince qui pouvait être facilement scellée à la lampe et étirée, l'auteur a pu fractionner les gaz à l'aide de la décharge. Après avoir séparé les deux tubes l'un de l'autre, on en examina les spectres ; l'un d'eux, celui qui avait formé le pôle positif, ne contenait qu'une trace d'hydrogène, tandis que l'autre montrait très brillamment les raies de ce gaz.

Il semble exister un lien très étroit entre la séparation des gaz et la stratification, les deux phénomènes se produisant toujours simultanément. Si les vues de l'auteur sont correctes, une vapeur ou un gaz pur ne doit pas se stratifier. Quelques expériences tendent à confirmer cette opinion.

L'auteur conclut donc de ces recherches que dans un mélange de deux gaz soumis à la décharge électrique, l'un des gaz se sépare et apparaît dans la lueur négative ; et que la stratification des gaz est due à leur séparation et ne doit pas se produire dans un gaz pur.

M. Blakesley lit une communication du professeur W. Crookes ayant trait à ce sujet. M. Crookes fait remarquer qu'en 1891 il a donné des raisons qui tendent à démontrer que la stratification des gaz est due à leur hétérogénéité.

M. Ramsay dit qu'aucun argument n'indique qu'il se produit une électrolyse dans le gaz, et il n'est pas démontré que des molécules de gaz puissent transporter l'électricité à la manière des ions. Il est possible que la stratification provienne des collisions entre molécules produisant par endroits de plus hautes températures ; la question reste douteuse.

M. Enright pense que l'analogie avec l'électrolyse n'est pas très claire, car dans un mélange de gaz simples, les éléments ne sont pas combinés chimiquement, et l'électrolyse implique la séparation de composés chimiques.

Le professeur *S.-P. Thompson* espère que l'auteur continuera ses importantes recherches, et qu'il cherchera à expliquer les points douteux des phénomènes que présentent les tubes raréfiés. Il y a quelque difficulté à classer la séparation des gaz avec l'électrolyse, car les effets de celle-ci ne sont visibles qu'aux électrodes et non dans le milieu intermédiaire.

Le professeur Schuster a publié plusieurs résultats importants tendant à montrer que des

ions se déplacent à l'intérieur des tubes à vide. A propos de la remarque de M. Ramsay relative aux molécules qui ne transportent pas d'électricité, M. Thompson fait observer que le vent électrique est un phénomène qui permet de conclure dans le sens opposé. Des effets de convection analogues se produisent dans la térébenthine et dans d'autres liquides isolants.

M. Thomson désire savoir si l'auteur a essayé d'employer des voltages peu élevés (100 volts par exemple) et si dans ce cas il a encore obtenu la séparation des gaz. Le phénomène d'osmose électrique de Porret semble avoir quelque relation avec le sujet, de même que les observations de Faraday avec des fils de soie dans la térébenthine, montrant que dans des liquides non-conducteurs il se produit des phénomènes analogues à l'électrolyse.

M. Ramsay rappelle que si l'on mélange de l'indigo à un corps peu conducteur, comme l'eau distillée, et si l'on soumet le mélange à l'électrolyse, toute la matière colorante bleue se groupe autour d'une électrode, tandis qu'en remplaçant l'indigo par du sulfure d'arsenic, la poudre colorée se rend à l'autre pôle. En mélangeant les deux solutions, toutes les matières en suspension se précipitent. On n'a pas d'explication de ces effets très remarquables.

A. H.

Sur les courants polyphasés, par P.-A. Winand (1).

Démonstration mécanique des courants polyphasés.

Avant de procéder à la comparaison des quantités de cuivre nécessaires pour des lignes de transmission d'énergie par courants continus, courants alternatifs simples et courants polyphasés, et avant d'examiner la question de la mesure de ces courants, il peut être intéressant de décrire un dispositif mécanique simple permettant de montrer le jeu des divers éléments d'un système à courants polyphasés.

Ce dispositif consiste (fig. 1) en deux disques, ou deux anneaux avec rais, disposés de façon qu'ils puissent osciller sans tourner autour de leur centre. Chaque disque est pourvu d'un petit arbre central perpendiculaire à son plan. Une manivelle, reliée avec l'un des arbres, permet de lui imprimer un mouvement de rotation autour de l'axe principal de l'appareil, c'est-à-dire de la ligne qui joint les centres des deux disques. Afin d'empêcher ceux-ci de tourner autour de leur centre, on peut les relier au support au moyen de ressorts plats ou par des cordes attachées à leur pourtour et à un point du cadre, situé au même niveau que le centre de chaque disque. Lorsqu'on tourne la manivelle, le premier disque oscille successivement dans toutes les directions, et chacun de ses points est animé d'un mouvement de soulèvement et d'abaissement presque en ligne droite, qui sont à peu de chose près la loi du sinus : mais les diffé-

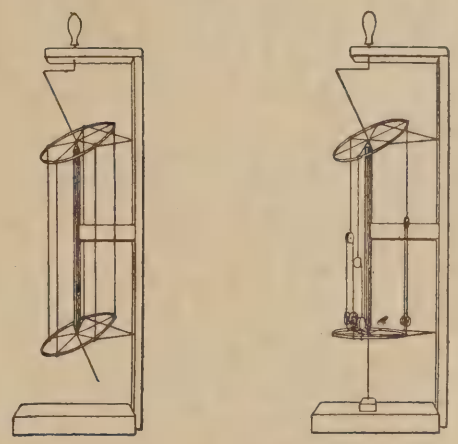


Fig. 1 et 2.

rents points de la périphérie atteignent leurs positions extrêmes à des instants différents. Leurs mouvements ont des phases différentes.

En reliant des points correspondants des deux disques au moyen de cordes, toutes de même longueur, celles-ci accompliront des mouvements longitudinaux suivant la loi du sinus, et représenteront les différents courants d'un système polyphasé. Le second disque, avec son arbre, suivra exactement les mouvements du premier. La figure 1 correspond à un système symétrique à courants pentaphasés. Un système quelconque peut, d'ailleurs, être représenté en attachant les cordes à des points correspondants du disques (en dehors de la périphérie).

Avec une petite modification le même modèle peut expliquer les relations qui existent entre les courants d'un montage en triangle et ceux

(1) Extrait d'un mémoire du *Journal of the Franklin Institute*.

d'une disposition en étoile. La figure 2 donne l'exemple d'un système triphasé symétrique. Chaque corde du premier disque porte à son extrémité une petite poulie. Une corde continue (corde représentant le triangle) passe autour de ces poulies et d'autres du second disque. Si l'on maintient vertical l'axe de ce dernier pendant que l'on tourne la manivelle, les poulies à mi-hauteur monteront et descendront avec les cordes représentant les branches de l'étoile, la corde du triangle possédera un mouvement propre, de phase différente dans ses différentes sections, et différente aussi de celle des cordes de l'étoile.

Dans chaque section de la corde continue le mouvement coïncide en phase avec le courant dans la branche correspondante du montage en triangle. mais son amplitude est double en comparaison de celle des cordes correspondant aux branches de l'étoile.

Rendement de la transmission et quantités de cuivre.

La comparaison au point de vue du rendement de la transmission a été souvent faite entre le courant alternatif simple et le courant continu. Nous nous contenterons donc de rappeler que si les voltages mesurés sont les mêmes dans les deux cas, la différence de potentiel maxima est $\sqrt{2}$ fois plus grande dans la transmission à courant alternatif que dans celle à courant continu. Il faut donc deux fois plus de cuivre pour transmettre avec le même rendement une puissance donnée dans le cas des courants alternatifs qu'avec le courant continu, si l'on admet dans les deux cas la même différence de potentiel maxima.

Des personnes compétentes ont assuré qu'en ce qui concerne l'isolement et la sécurité, on peut employer un potentiel plus élevé avec les courants alternatifs, et cela d'autant plus que la fréquence est plus élevée. On ne semble pas d'accord sur ce point, mais on peut admettre que pour les fréquences employées le voltage alternatif mesuré qui correspond à 100 volts continus est compris entre 100 et 70,7 volts, et que, par suite, la quantité de cuivre est plus élevée avec le courant alternatif qu'avec le courant continu.

Quoi qu'il en soit, cette considération n'intervient pas dans la comparaison entre le courant alternatif simple et les courants polyphasés. Une différence de phase entre le courant et la force électromotrice, qui augmenterait la quantité de cuivre dans la transmission alternative, est tout aussi désavantageuse avec les courants polyphasés, et ne changerait pas la valeur relative des deux systèmes.

En réalité, les systèmes polyphasés sont, en général, plus avantageux, et cela est dû au fait que le voltage qui détermine l'énergie transmise n'est pas toujours celui dont dépend l'isolement.

La figure 3 représente un système triphasé symétrique, dont une extrémité est montée en étoile, l'autre en triangle. A A, B B, C C sont les lignes. Si nous appelons V_e le voltage entre O et A, et I_e l'intensité du courant (racine carrée

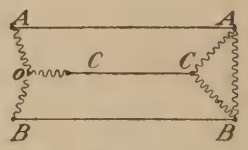


Fig. 3

du carré moyen) en A A, nous savons que le voltage V_i entre A et C, par exemple, est

$$V_i = 1{,}73\, V_e \qquad (1)$$

et que le courant en A C est

$$I_m = 0{,}577\, I_e$$

Il est évident que le voltage à considérer pour l'isolement est V_i, parce que c'est le plus élevé qui se produise entre deux points quelconques du système. Mais le voltage dont dépend la puissance, avec le courant I_1 dans la ligne, est V_e. La puissance totale est

$$P_3 = 3\, V_e\, I_1, \qquad (2)$$

et si R_3 est la résistance de chaque conducteur de la ligne, la perte totale de la transmission est

$$H_3 = 3\, I_1^2\, R_3. \qquad (3)$$

Pour un système alternatif ordinaire (fig. 4), le voltage A O B peut être désigné par 2 V, et il n'y a pas de distinction à faire en ce qui concerne l'isolement et la puissance.

$$P_2 = 2\, I\, V, \qquad (4)$$

$$H_2 = 2\, I^2\, R_2. \qquad (5)$$

Le système alternatif simple et le système polyphasé sont du même voltage pratique quand

$$V_i = 2\,V\,; \qquad (6)$$

en substituant (1) dans (6) nous avons

$$2\,V = 1{,}73\,V_e\,; \qquad (7)$$

ou

$$V_e = 1{,}154\,V.$$

Pour comparer les cas où la même puissance est transmise avec le même rendement, nous devons égaler (2) à (4), ce qui donne, avec (7),

$$I = 1{,}73\,I_4 \qquad (8)$$

Dans la ligne les courants sont 1,73 fois plus intenses en alternatif qu'en polyphasé.

En égalant (3) et (5), et ajoutant (8) nous obtenons

$$R_3 = 2\,R_2.$$

Ce qui veut dire que la section du conducteur

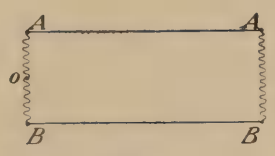


Fig. 4

à courants alternatifs est le double de celle du conducteur à courants triphasés, et que les quantités de cuivre sont entre elles comme 4 à 3.

Ce résultat combiné avec la supposition erronée que le courant alternatif est aussi avantageux que le courant continu a conduit à la conclusion inexacte que les courants triphasés sont plus avantageux, à voltage égal, que la transmission à courant continu.

Si nous comparons les cas où les densités de courant sont les mêmes dans les deux systèmes, nous avons

$$R_3\,I_4 = R_2\,I,$$

et à l'aide de (8)

$$R_3 = 1{,}73\,R_2,$$

ce qui, avec (3) et (5), donne

$$\frac{H_3}{H_2} = 0{,}866.$$

La perte est donc 0,866 en triphasé contre 1 en alternatif simple, si la chute de potentiel sur la ligne est la même; (9) montre que dans ce cas les quantités de cuivre sont comme 0,866 à 1.

Le système triphasé est, en ce qui concerne la masse de cuivre, plus avantageux que tout autre système polyphasé.

Quand le nombre de phases est pair, soit $2n$, le système peut être considéré comme composé de n courants alternatifs ordinaires distincts, en réunissant les courants diamétralement opposés. La quantité de cuivre est donc la même que pour le courant alternatif simple.

Quand le nombre de phases est impair, il y a économie sur le cuivre, mais cette économie est d'autant plus faible que le nombre de phases est plus élevé. Ainsi, tandis qu'elle est de 25 o/o en triphasé, elle n'est que de 9,5 o/o en pentaphasé, et ainsi de suite.

Le système tétraphasé ne donne pas d'économie lorsqu'il est employé avec quatre conducteurs symétriques. Lorsqu'on l'applique avec trois conducteurs (un servant de retour commun), le système est dissymétrique et la quantité

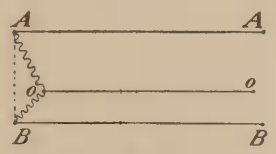


Fig. 5

de cuivre est encore plus grande, comme le montrent les considérations suivantes :

Dans la figure 5, O O représente le fil de retour commun. Soit V_{4e} le voltage entre O et A, et V_{4i} le voltage entre A et B ; alors les courants dans O A et O B, de même que les différences de potentiel, sont à 90° ou $\frac{\pi}{2}$ de différence de phase. Les différences de potentiel prises entre A et B différeront en phase de $\frac{\pi}{4}$ et $\frac{3\pi}{4}$ de ceux en O A et O B, et

$$V_{4i} = 2 \sin \frac{\pi}{4}\,V_{4e}$$

ou

$$V_{4i} = \sqrt{2}\,V_{4e} \qquad (10)$$

Les intensites de courants sont dans le même rapport :

$$I_5 = \sqrt{2}\,I_4 \qquad (11)$$

si I_4 est l'intensité du courant en A A ou B B et I_5 le courant en O O. La puissance est

$$P_4 = 2\,V_{4e}\,I_4 \qquad (12)$$

et la perte

$$H_4 = 2 I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5. \qquad (13)$$

Si nous supposons la même densité de courant dans les fils A, B et O, nous avons

$$R_4 = \sqrt{2} R_5,$$

ce qui, avec (11) et (13), donne

$$H_4 = 2 I_4^2 R_4 + \frac{2}{\sqrt{2}} I_4^2 R_4,$$

ou

$$H_4 = (2 + \sqrt{2}) I_4^2 R_4. \qquad (13_a)$$

Pour comparer ce résultat avec le courant alternatif ordinaire, nous devons admettre que

$$V_{4i} = 2 V,$$

et en égalant (4) à (12) et (5) à (13_a), nous obtenons finalement avec (10)

$$R_2 = \frac{2 + \sqrt{2}}{4} R_4.$$

La distance de transmission étant supposée la même, le poids de chaque conducteur est en raison inverse de sa résistance, et les poids totaux sont entre eux comme

$$8 \text{ à } (2 + \sqrt{2})^2$$

ou comme 1 à 1,457, pour le courant alternatif ordinaire comparé au système tétraphasé.

Comme conclusion des calculs précédents, on peut dire que si la quantité de cuivre nécessaire dans une ligne avec le même voltage et toutes les autres conditions identiques est 100 pour le courant alternatif, il est de 75 pour le système triphasé, 90,5 pour le pentaphasé, entre 70,7 et 100 pour le courant continu, 100 pour le tétraphasé symétrique, et 145,7 pour le tétraphasé avec fil de retour commun.

Ce dernier système exige donc presque deux fois autant de cuivre que le triphasé.

S'il y a une différence de phase entre les courants et les potentiels, la capacité des conducteurs relativement à la puissance est réduite dans le rapport du carré du cosinus de la différence de phase. Mais ceci s'applique à tous les systèmes utilisant des courants alternatifs.

Il semble, d'après les considérations qui précèdent, que le système triphasé présente des avantages bien caractérisés sur tous les autres systèmes alternatifs, mono ou polyphasés. Nous restreindrons donc les calculs suivants aux courants triphasés.

Mesure de la puissance.

Dans cette question de mesure de la puissance dans un système triphasé, il est nécessaire de considérer le cas général d'un système non symétrique ayant des différences de phases quelconques entre les courants et les potentiels.

Pour un système symétrique, la puissance est

$$P = 3 V_e I_i \cos \varphi,$$

ou

$$P = 3 V_i I_m \cos \varphi.$$

Dans ce cas, l'indication d'un électrodynamomètre-wattmètre donne directement la puissance, mais l'instrument ne peut en général être monté de façon à utiliser ces formules.

Comme

$$V_i = \sqrt{3} V_e$$

la puissance est aussi

$$P = \sqrt{3} V_i I_i \cos \varphi.$$

Cette formule permet de se servir avec l'instrument du courant dans la ligne et du voltage entre deux des conducteurs. En thèse générale, toutefois, on ne peut supposer le système symétrique.

MM. Siemens et Halske ont imaginé une méthode et construit un instrument pour la mesure de la puissance dans ce cas [1].

Quand les courants des trois lignes ont la même amplitude, en montant un wattmètre ordinaire de telle façon que l'un des courants, celui en A A, par exemple, traverse une bobine, tandis que la bobine des volts est d'abord reliée à A et B, puis à A et C, on obtient deux lectures dont la somme représente la puissance totale.

Le wattmètre Siemens spécial donne ce même résultat en une seule lecture. Sa bobine à fil fin consiste en deux enroulements séparés reliés à A B et B C.

Si les trois voltages A B, B C et C A étaient les mêmes, ce qui est plutôt le cas de la pratique, le même résultat pourrait être obtenu avec un wattmètre muni de deux bobines à gros fil et une seule à fil fin.

M. Goerges montre que si les deux lectures en

[1] *La Lumière Électrique*, t. XL, p. 171.

question sont égales, c'est qu'il n'y a pas de différence de phase entre les courants et les potentiels. Il montre aussi que la puissance de tout système triphasé dissymétrique peut être obtenue par six lectures d'un wattmètre ordinaire ou par trois lectures du wattmètre spécial de Siemens.

Ces résultats, de même qu'une méthode moins compliquée, peuvent être établis à l'aide d'une considération très simple, qui présente aussi de l'utilité dans d'autres cas, et qui s'énonce ainsi :

Tout système triphasé peut toujours être considéré comme résultant de deux courants alternatifs indépendants partiellement superposés.

L'un est le courant qui passe par un des conducteurs, soit A A, et retourne par les deux autres.

Le second courant est superposé au précédent

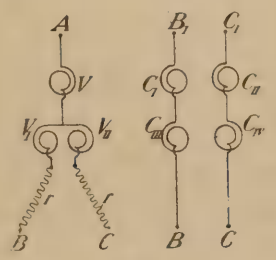


Fig. 6

dans les deux autres conducteurs et n'affecte pas le courant dans le premier conducteur. Sa valeur est, à chaque instant, la moitié de la différence entre les courants de B et de C, tandis que la valeur du premier courant est en valeur absolue la moitié de la somme de ces courants en B et C.

La puissance du premier courant est à chaque instant égale au produit du courant A par la différence de potentiel moyenne en A d'une part et B et C de l'autre; c'est-à-dire la demi-différence des tensions β et γ entre A C et A B prises avec leurs signes.

C'est le double de cette partie de la puissance totale que mesure le wattmètre Siemens.

La puissance du second courant est égale au produit de la demi-différence des courants B et C par la tension α entre B et C.

La première partie de la puissance peut aussi être mesurée à l'aide d'un wattmètre ordinaire, dont la bobine gros fil est traversée par le courant A, tandis que sa bobine fil fin est reliée à A et le milieu d'une résistance reliant B à C. Cette résistance n'est même pas nécessairement non inductive, pourvu que ses deux moitiés soient équivalentes.

La seconde partie peut facilement être mesurée au moyen d'un wattmètre ayant une bobine gros fil double.

La somme des lectures est exprimée par

$$P = A\,\frac{\beta - \gamma}{2} + \frac{C - B}{2}\,\alpha. \qquad (13)$$

Il est possible de faire un instrument qui combine les actions de ces deux composantes de la puissance et donne directement leur somme ou la puissance totale.

La figure 6 est un diagramme d'un instrument de ce genre. La partie gauche, qui sera la partie mobile, contient une bobine fil fin unique V et

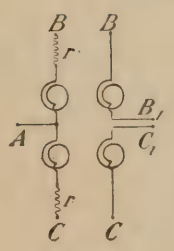


Fig. 7

une bobine double V_I V_{II}, dont les deux moitiés sont enroulées en sens contraire et reliées aux résistances égales *r r*.

La partie de droite contient deux bobines gros fil doubles. Les moitiés C_I C_{II} sont enroulées dans le même sens et n'agissent que sur la bobine V. L'action est proportionnelle à chaque instant à la somme des courants B et C, ou au courant A.

Les deux moitiés C_{III} C_{IV} de la bobine inférieure sont enroulées en sens opposé, et agissant sur la bobine V_I V_{II}. V_I et V_{II} étant de sens opposé ne donnent pas d'action résultante pour le courant traversant V, mais leurs actions s'ajoutent pour le courant passant de B en C à travers les résistances *r r*, par suite de la différence de potentiel α.

M. H. Aron a imaginé une autre méthode encore plus simple, car elle n'exige qu'un instrument avec quatre bobines, agissant deux par deux comme le montre la figure 7. Il a modifié

son compteur pendulaire bien connue pour l'adapter aux circuits triphasés [1].

Le wattmètre basé sur ce principe permet de mesurer la puissance d'un système triphasé au moyen d'une seule lecture, et l'instrument est presque aussi simple que le wattmètre employé pour les circuits alternatifs ordinaires.

Le résultat est indépendant de la nature des courants et de leurs différences de phase. Pour cette raison, les mêmes instruments peuvent être appliqués à la mesure de la puissance dans le système tétraphasé dissymétrique avec trois conducteurs (fig. 5), qui peut être considéré comme un cas particulier du système triphasé général.

A. H.

Relation entre la force électromotrice voltaïque et la pression, par G. Gore.

Nous avons donné dans notre dernier numéro les résultats des expériences de l'auteur constatant la force électromotrice créée entre deux électrodes identiques plongées dans le même électrolyte, en donnant à la pression du liquide des valeurs différentes dans le voisinage de chacune des électrodes.

Pour réaliser ces différences de pression, M. Gore se sert de divers dispositifs dont nous avons parlé dans notre précédente revue; nous ajoutons à la description de ces appareils les figures 1, 2 et 3.

Le premier dispositif consiste en un tube de verre d'environ 3 mètres de long et de 1 centimètre de diamètre (fig. 1), fermé à ses extrémités par des bouchons dans lesquels passent les fils métalliques de même nature servant d'électrodes. Ce tube est fixé sur une planche horizontale pouvant tourner autour d'un axe passant par le milieu de sa longueur. Dans la position horizontale du tube, la pression du liquide est uniforme dans toutes ses parties. En redressant ensuite le tube, on établit dans les couches de liquide près de l'électrode inférieure une pression déterminée par les couches de liquide supérieures.

Pour obtenir avec un tube vertical une même pression dans le voisinage des électrodes fixées à ses extrémités, l'auteur emploie la disposition représentée par la figure 2. Le tube porte une branche latérale parallèle remplie de la dissolution électrolytique jusqu'au niveau de l'électrode supérieure; la pression dans le voisinage de cette électrode est alors égale à celle de l'atmosphère. Un tube recourbé, fixé à la partie inférieure du tube vertical, est fermé par un bouchon portant la seconde électrode; une entaille longitudinale pratiquée dans le bouchon met le liquide en communication avec l'atmosphère. Un diaphragme poreux placé à l'extré-

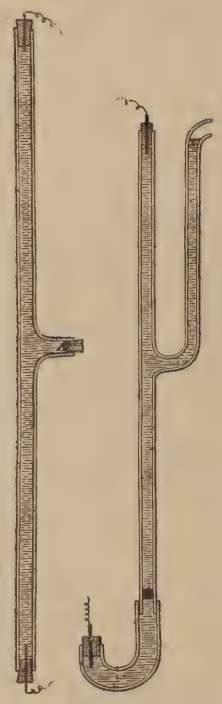


Fig. 1 et 2.

mité inférieure du tube vertical empêche la pression de la colonne de liquide contenu dans ce tube de se transmettre au liquide du tube recourbé, et de cette manière la pression est encore celle de l'atmosphère dans le voisinage de la seconde électrode.

Enfin, pour produire une différence de pression dans le voisinage des électrodes placées dans un même plan horizontal, M. Gore dispose l'appareil représenté par la figure 3. Les électrodes sont fixées dans deux tubes C et E reliés par un cylindre poreux traversant un bouchon D. Le tube C est relié par un coude en gutta-percha B avec un tube A, de 1 à 2 mètres de

[1] *La Lumière Électrique*, t. XLIV, p. 327.

longueur. Ce tube ainsi que la coudure B, sont remplis de mercure.

Quand le tube A est placé horizontalement, le liquide entourant les électrodes n'est pas soumis à des pressions différentes dans les deux

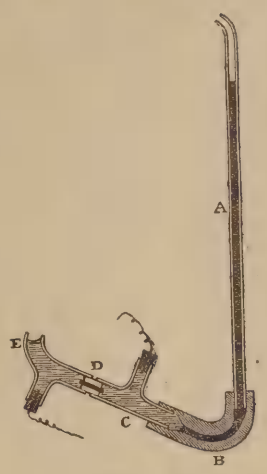


Fig. 3

tubes E et C. Pour établir une différence de pression, il suffit de redresser verticalement le tube A ; on obtient alors en C une augmentation de pression.

VARIÉTÉS

LE DÉVELOPPEMENT DE L'ÉLECTRICITÉ [1]

Industrie électrochimique.

L'industrie électrochimique est, financièrement, l'une des plus importantes de ce pays. La galvanoplastie fut introduite par Elkington à Birmingham en 1840. Il y a maintenant environ 170 galvanoplastes à Sheffield, et plus de 100 à Birmingham. La maison Christophle, de Paris, dépose annuellement six tonnes d'argent.

Presque tout le cuivre employé dans les conducteurs électriques est extrait de ses minerais impurs par électrolyse Les 2/3 d'un cheval-vapeur peuvent précipiter un kilogramme de cuivre par heure, et coûtent environ 2,5 cent., de sorte que le procédé est très bon marché. Le résultat est magnifique, car le cuivre obtenu n'a souvent pas une résistance supérieure à 102 o/o du cuivre pur.

L'aluminium est extrait en grandes quantités de la cryolite. Son prix, qui avait considérablement baissé, tend de nouveau à augmenter, la consommation étant de plus en plus considérable.

Beaucoup d'essais ont été faits en vue de produire la soude caustique et le chlore au moyen du sel marin, spécialement pour le blanchiment dans l'industrie du papier ; mais toutes les difficultés n'ont pas encore été vaincues, la principale étant la destruction des anodes.

Un procédé intéressant, qui permet de séparer le phosphore d'un phosphate minéral par l'effet dissociant de la chaleur de l'arc voltaïque a été développé par Readman, Parker et Robinson ; mais quoique le droit d'employer ce procédé ait été vendu très cher, il ne semble pas qu'on l'ait mis en pratique. Des progrès sont réalisés dans d'autres directions encore, notamment dans la production de l'ozone, dans le blanchiment électrique, et dans les procédés de réduction par le four électrique.

Il y a peu de procédés de réduction ou d'oxydation en industrie chimique qui ne puissent être effectués économiquement et avantageusement par le courant électrique, et le prix de revient peu élevé de l'énergie électrique, quand on peut l'utiliser d'une façon continue, et quand elle est produite par une force motrice hydraulique, de même que l'extrême pureté des produits obtenus, appellent sérieusement l'attention sur cette branche d'industrie très lucrative. Il n'est pas impossible de produire un kilowatt-heure à 1 centime, si l'on dispose d'une force hydraulique.

Éclairage électrique.

La lampe à incandescence a été beaucoup perfectionnée, et comme cette année verra expirer le brevet le plus important, nous verrons réduire le prix de la lampe à quelque chose comme 1,25 fr. Quelques-uns d'entre nous se souviennent avoir acheté des lampes à 30 francs. Comme une lampe à incandescence coûte actuellement 1 franc au fabricant, nous pouvons espérer que ma prédiction se réalisera.

[1] *La Lumière Electrique*, t. XLVII, p. 543.

Le problème de la distribution économique a été grandement simplifié par le système à trois fils du docteur J. Hopkinson, et par les perfectionnements des appareils à hautes tensions. Celles-ci ne permettent pas seulement de réaliser une économie considérable sur les canalisations, mais simplifient aussi énormément la régulation. Les premiers systèmes à courants alternatifs qui ont tout fait pour le développement de l'éclairage électrique faisaient perdre beaucoup d'énergie dans le fer et dans le cuivre; mais le transformateur actuel est aussi parfait que la dynamo. Les pertes ont été supprimées, et les moyens de couplage des transformateurs auront fait disparaître toute différence entre les systèmes à haute et à basse tension.

Le préjugé contre les hautes tensions est encore fort, mais le temps et l'expérience finiront par le déraciner. Les préjugés contre la vapeur à haute pression et contre les grandes vitesses sur les chemins de fer ont été tout aussi puissants : pourtant, s'ils survivent aujourd'hui, ils n'ont plus la moindre importance.

Le progrès dans l'éclairage électrique évolue maintenant principalement sur le terrain économique. Le coût de production de l'énergie diminue rapidement. On élimine les facteurs de perte, et l'on encourage le fonctionnement continu, jour et nuit. Si l'on pouvait maintenir une marche à pleine charge durant les 24 heures de la journée, l'énergie électrique coûterait 3 à 4 centimes par kilowatt-heure, ce qui équivaudrait à du gaz à moins de 1 centime le mètre cube. Les limites d'économie de l'éclairage électaique sont donc bien au-delà des rêves du gazier.

Les traits les plus saillants dans le développement de cette grande industrie sont l'aveuglement d'autruche des directeurs d'entreprises gazières, qui se croient à l'abri du progrès derrière leurs gros dividendes, et les lamentations puériles de leurs journaux techniques. L'industrie gazière aurait dû être la nourrice de cet enfant herculéen qui capte une de ses principales sources de profits.

Le public a en horreur les monopoles, mais il ne fait pas de distinction entre le monopole ne profitant qu'à quelques-uns, et celui mis en œuvre par tous au profit de tous.

Un brillant éclairage dans nos rues augmente la sécurité, et prévient non seulement le crime mais aussi les accidents. La quantité de lumière envoyée dans la rue par un bec de gaz est très faible, tandis que les lampes à arc convenablement groupées donnent un éclairage rivalisant avec le jour.

Le progrès de cette industrie ressort des nombres suivants relatifs à Londres.

Au 31 décembre	1890,	nombre de lampes installées	145 000
—	1891	—	330 000
—	1892	—	500 000

Beaucoup d'efforts sont faits en vue d'utiliser les forces perdues de la nature pour la production du courant électrique. En Amérique, en Écosse, en Suisse, en Italie, et, en fait, dans tous les pays où les chutes d'eau sont nombreuses, on cherche à les utiliser en convertissant leur énergie en électricité.

A Tivoli, près de Rome, une chute de 50 mètres actionne six turbines de 350 chevaux chacune, soit en tout 2 100 chevaux. Six alternateurs à haute tension couplés en parallèle envoient à plus de 5 000 volts l'énergie électrique à Rome, c'est-à-dire à près de 24 kilomètres. A l'entrée de Rome, les 5000 volts sont réduits à 102 volts pour être distribués sous cette forme dans la ville. Il y a à Rome 600 arcs et 3 000 lampes à incandescence, dont une partie est alimentée par Tivoli. J'ai visité cette installation récemment; elle fonctionne très régulièrement et très économiquement sous la direction du professeur Mengarini.

La force motrice hydraulique supprime la dépense de combustible, mais il faut se rappeler que les frais de machinerie et de l'établissement des conducteurs limitent la distance à laquelle l'énergie peut être économiquement transmise. Le projet d'éclairer New-York par des courants engendrés à Niagara est à l'heure actuelle financièrement absurde.

Transmission de l'énergie.

La plus ancienne proposition pour la transmission électrique à distance de la force motrice est contenue dans les brevets de H. Prinkus, qui proposa en 1840 d'actionner un tramway électrique au moyen de piles primaires placées sur la ligne, mais non sur les voitures.

La première démonstration de la transmission de force électrique fut donnée à l'Exposition de Vienne, en 1873, par M. Fontaine, mais on ne sait si la découverte de la réversibilité de la dynamo est le résultat de recherches conscientes, ou si elle n'est due qu'à un hasard, ainsi qu'on le dit souvent.

En 1882, M. Gisbert Kapp découvrit qu'il était possible de faire tourner un moteur électrique à une vitesse constante sous des charges extrêmement variables, pourvu que la génératrice et le moteur fussent deux machines enroulées en série et qu'elles eussent des caractéristiques correspondant l'une à l'autre. Ce principe a été appliqué par M. Brown et d'autres sur le continent.

Ferraris et Tesla découvrirent en 1888 le moteur à champ tournant actionné par des courants polyphasés. Entre temps la transmission de l'énergie par courants alternatifs simples a aussi progressé, le premier exemple d'application sur une grande échelle étant la station d'éclairage de Cassel, établie par M. O. von Miller et mise en service en 1891.

Nous nous attendons à de grands développements dans cette voie à Niagara; il est possible que la transmission par courants alternatifs y sera appliquée sur une échelle très vaste, et que l'on emploiera en toute sécurité des tensions de 5000 à 10 000 volts.

Traction électrique

Les Etats-Unis ont fait faire à la traction électrique des progrès gigantesques, et le mouvement en sa faveur commence à se dessiner en Angleterre. La dernière fois que je visitai l'Amérique, en 1884, il n'existait qu'un seul tramway électrique, celui de Cleveland. Une seule compagnie, la *General Electric Company*, possède maintenant :

Lignes en service.....	8.150 kilomètres
Voitures électriques.....	8,856

Ainsi, la longueur moyenne de chaque ligne de tramway électrique est d'environ 17 kilomètres. La puissance mise en œuvre est de plus de 100000 chevaux. En pleine campagne on atteint quelquefois des vitesses de plus de 60 kilomètres à l'heure.

En 1892, ces tramways ont transporté 250 millions de voyageurs, sur 90 millions de voitures-kilomètres. Le capital engagé dans ces entreprises est d'environ 300 millions de francs, et le prix de revient du transport est de 40 centimes par voiture-kilomètre. Tous ces tramways sont du système à conducteurs aériens. On a beaucoup essayé d'employer les accumulateurs à la traction électrique, mais les résultats semblent peu favorables jusqu'ici.

Théorie.

Faraday et Maxwell ont jeté les bases de la théorie de l'électricité. Depuis cette époque je n'ai jamais considéré l'électricité comme autre chose qu'une forme de l'énergie, et ses effets comme des modes de mouvement des molécules matérielles ou de l'éther qui remplit l'espace; et pendant mon long apprentissage de 40 années je n'ai jamais examiné une seule expérience ni considéré un seul fait qui ne fût pas explicable par cette théorie.

J'applique le terme électricité à cette forme de l'énergie que nous utilisons. Je ne l'applique pas, comme le font quelques physiciens, à un facteur purement imaginaire de l'énergie, quelquefois appelé « quantité » et même honoré d'une unité — le *coulomb*. Je propose de supprimer ce terme, dont nous pouvons nous passer.

L'électricité de l'ingénieur est une réalité objective que nous pouvons engendrer, utiliser, mesurer et vendre.

La tendance actuelle est d'apporter la simplicité dans les investigations théoriques. La vraie théorie n'emprunte pas le langage abstrus des mathématiques pour se rendre claire et acceptable. La doctrine de l'évolution, le principe de la conservation de l'énergie, la théorie ondulatoire de la lumière, l'équivalent thermique du travail, tout cela, si solide et si substantiel, a été rendu clair en reléguant les symboles mathématiques en leur vraie place — celle de l'étude.

Le principe le plus fécond qui ait été introduit dans la science de ce siècle est l'équation de l'énergie, qui implique que l'énergie totale de tout système physique est la somme des énergies de ses différentes parties, qu'elles soient dépensées utilement ou non.

La théorie moléculaire de l'électricité donne au physicien le moyen de combiner tous les phénomènes physiques en une grande science, celle de l'énergie. Maxwell, s'il avait vécu, eût accompli cette œuvre. Il a anéanti la théorie de l'action à distance et établi l'existence de tensions dans l'éther, comme il a montré l'identité des ondes lumineuses et électro-magnétiques.

L'électricité est donc de l'énergie transmise par la matière à travers l'espace par certaines perturbations, appelées « ondes électromagnétiques », résultat et équivalent d'un travail accompli et affectant des formes déterminées. Il n'est pas difficile de concevoir les mouvements de l'éther. Une molécule est sujette à toutes sortes de mouvements : translation, oscillation, rotation sur son axe, et révolution autour d'un axe extérieur. Clausius a émis l'hypothèse que les atomes ou les groupes d'atomes constituant une molécule tournent les uns autour des autres comme des planètes. Les mouvements du système solaire et ceux d'une molécule d'eau seraient donc similaires; l'infiniment grand ne différerait de l'infiniment petit que par une différence d'échelle.

Ces mouvements sont imprimés et transmis par l'éther, et absorbés par la matière. Une espèce d'onde nous donne la lumière, une autre la chaleur rayonnante, une autre le magnétisme, d'autres encore l'électrification. La vitesse de propagation de ces ondes est la même, 300 000 kilomètres par seconde; elles ne diffèrent que par leurs formes et leurs fréquences.

La matière et l'éther sont soumis à des efforts, des courants, des tourbillons et des ondulations, et tout phénomène électro-magnétique peut être ramené à l'une de ces perturbations mécaniques. La rotation dans un sens donne l'électrification positive; la rotation dans le sens opposé l'électrification négative. Un tourbillon dans une direction donne un pôle magnétique nord; dans une autre direction, un pôle sud. Hertz, dans ses démonstrations expérimentales des vues de Maxwell, a montré l'existence des ondes électro-magnétiques, et a prouvé leur réflexion, leur réfraction et leur interférence Leur vitesse de propagation est la même dans l'éther, dans l'air et dans les fils conducteurs.

C'est un malheur qu'une belle hypothèse comme la théorie électromagnétique de la lumière de Maxwell ait été discutée presque uniquement par des mathématiciens. Son étude est restée confinée dans une classe de personnes peu nombreuse et exclusive. Elle n'a pas pénétré dans le public; c'est regrettable, car, après tout, c'est le nombre et non la minorité qui détermine l'acceptation ou le refus d'une théorie.

Nous devons considérer la propagation des ondes non seulement dans le conducteur et le diélectrique dans la direction même du circuit, mais encore dans l'éther normalement à cette direction. La première produit des courants dans le conducteur; celle-ci produit l'induction et des effets secondaires dans un conducteur voisin. Il est ainsi aisé de voir pourquoi les lignes de force électriques et magnétiques sont perpendiculaires les unes aux autres, et normales au sens de propagation de l'onde électromagnétique primaire.

Le caractère oscillatoire de la décharge d'une bouteille de Leyde, observé par Henry en 1842, est une preuve admirable de la théorie moléculaire. Quand deux bouteilles semblables en ce qui concerne la capacité et l'inertie du circuit sont placées l'une près de l'autre, il suffit de charger et de décharger l'une pour que l'autre donne lieu à des variations de charge correspondantes, comme se correspondent deux diapasons accordés. Le professeur Oliver Lodge a montré qu'en faisant varier la capacité des bouteilles et l'inertie du circuit, on peut produire des oscillations d'une fréquence quelconque, depuis une seule jusqu'à 300 millions par seconde.

Le progrès de nos connaissances en cette branche a été beaucoup retardé par les fantaisies de mathématiciens visionnaires qui accaparent les colonnes de notre littérature technique et remplissent l'esprit de l'étudiant de conclusions fausses. Je n'ai aucune sympathie pour le mathématicien pur qui méprise l'homme pratique, se moque de son expérience, dirige l'univers de son lit, et invente des lois à son usage. L'Américain dit dans son langage humoristique : « La théorie sans la pratique est une denrée sans valeur aucune; la pratique sans la théorie vaut environ 15 dollars par semaine; mais la combinaison de ces deux éléments dans un homme de jugement sain vaut 10 000 dollars par an. »

W.-H. Preece.

FAITS DIVERS

Récemment, à la société de l'Industrie minérale, M. Rateau a décrit quelques inventions de M. Marcel Deprez L'une d'elles a trait à un indicateur à mouvement différentiel hélicoïdal. Il s'agit ensuite d'un appareil permettant d'engendrer mécaniquement la fonction logarithmique, d'un servo-moteur cinématique dont l'objet est de résoudre, par des procédés purement cinématiques, le problème résolu par M. Farcot en employant la vapeur ou un fluide quelconque comprimé, et qui permet de faire suivre à un point soumis à des résistances passives, qui peuvent être considérables, le mouvement d'un autre point sollicité par une force très faible.

M. Rateau décrit aussi un amortisseur cinématique qui complète l'appareil précédent, un indicateur dynamométrique optique imaginé par M. Deprez en 1877 et reproduit il y a deux ans en Angleterre; enfin, la découverte des champs magnétiques tournants qui, d'après l'auteur, pourrait être revendiquée par M. Deprez.

La National Electric Light Association vient de tenir sa seizième réunion à Saint-Louis. Ces réunions présentent toujours un grand intérêt parce qu'elles permettent aux ingénieurs et aux capitalistes engagés dans l'industrie électrique d'échanger leurs vues et de discuter les intérêts de leurs industries, qui tiennent aujourd'hui une si grande place aux États-Unis.

Le meeting de Saint-Louis n'a pas présenté une grande originalité au point de vue technique. Parmi les communications nous signalerons :

D. Adams. — Fer forgé et fonte dans la construction des inducteurs.

William Brophy. — Les questions d'assurance dans l'éclairage électrique.

H. Sterling. — Sur le système à courant alternatif.

G. Forbes. — Enmagasinage de l'énergie sous forme de chaleur.

C.-S. Bradley — Transmission de l'énergie à grande distance.

B. Stillwell. — Dans quelles conditions l'emploi de la force motrice hydraulique est-elle économique?

Louis Bell. — Transmission de force pour stations centrales.

C. Myers. — Conservation des poteaux en bois.

H. Browne. — Canalisations et conducteurs souterrains.

Calbert Townley. — La lampe à incandescence au point de vue commercial.

Enfin les congressistes se sont offert une conférence de M. Tesla, et si nous employons cette expression c'est que cette conférence a été organisée tout comme on ferait d'une représentation théâtrale. Plus de 4000 personnes se pressaient à l'entrée de la salle de théâtre que l'on avait louée, et les billets d'entrée faisaient, selon les habitudes américaines, l'objet de nombreuses transactions; on les vendait à des prix variant entre 3 et 5 dollars. Devant une assistance aussi nombreuse M. Tesla ne put répéter que ses expériences les plus frappantes, qui furent accueillies avec enthousiasme.

Le président de la réunion de Saint-Louis était M. Ayer; il sera remplacé l'année prochaine par M. Armstrong.

L'*Electrical World*, le plus grand journal d'électricité aux Etats-Unis, faisait paraître, pendant toute la durée du congrès, une édition spéciale, un bulletin quotidien des travaux de l'Electric Light Convention.

La société Union (Thomson-Houston) de Berlin a proposé à la municipalité d'Erfurt de construire dans cette ville un tramway électrique. D'autre part, la compagnie continentale du gaz de Dessau propose l'emploi de moteurs à gaz pour la traction sur cette ligne.

On sait que des essais ont été faits à Dresde, qui ont démontré l'applicabilité du moteur à gaz à la traction.

L'usine de production de force motrice établie à l'Exposition de Chicago couvre un terrain de 283 ares. Le bâtiment des chaudières présente une longueur de 191 mètres et une largeur de 26 mètres.

Toutes les chaudières seront tubulaires, mais de plusieurs types différents; leur capacité totate sera de 25 000 chevaux.

La salle des machines est divisée en 15 sections recevant 40 machines à vapeur classées par systèmes. Ce local contient aursi les machines dynamo pour l'éclairage et la transmission de force.

Le combustible exclusivement employé sera de l'huile de pétrole que l'on puisera dans un réservoir établi à près d'un kilomètre de distance sur les bords du lac. La capacité de cè réservoir correspond à 393400 chevalheures.

Tous les réglages importants s'effectueront automatiquement à l'aide de dispositifs électriques. C'est ainsi que les brûleurs sous les chaudières sont réglés par le manomètre.

Le succès des tramways électriques encourage les recherches d'autres moyens de traction mécanique. C'est ainsi que nous avons déjà les tramways à pétrole, à benzine, à gaz. A Berlin, des essais se poursuivent sur un moteur à benzine. A Fribourg, c'est un moteur à pétrole que l'on applique à la traction. Enfin, nous avons relaté il y a quelque temps, les essais qui ont été effectués à Dresde, sur un tramway mû par un moteur à gaz.

La *Schweizerische Bauzeitung* donne à ce propos les

renseignements suivants. Le gaz est contenu dans six réservoirs d'un mètre cube de capacité et éprouvés à 25 atmosphères pour une pression normale de 6; ces réservoirs alimentent deux moteurs à gaz de 4 chevaux chacun. Cette charge suffit pour un parcours de 30 à 40 kilomètres. La voiture contient 25 personnes et pèse 7 tonnes; la vitesse est de 10 à 12 kilomètres à l'heure. Le gaz sert également à l'éclairage et au chauffage de la voiture.

On doit appliquer ce système à un tramway projeté entre Neuchâtel et Saint-Blaise. M. Ladame, chargé d'examiner le meilleur mode de traction à employer sur ce tramway, a conclu en faveur du gaz sous pression.

MM. Gilliéron et Amrein, de Vevey, ont proposé une voiture automobile portant des réservoirs de gaz et un double moteur de 8 chevaux. Cette voiture, à deux boggies, pèserait 6 tonnes et recevrait 20 personnes; elle pourrait en outre remorquer une autre voiture, ce qui porterait le nombre des voyageurs à 40. La vitesse serait de 18 kilomètres à l'heure en palier.

Les compresseurs seraient établis à l'usine à gaz de Neuchâtel, où se ferait le chargement. La compagnie fournirait le gaz à 0,20 fr. le mètre cube pour une consommation annuelle de 30000 mètres cubes. M. Ladame a calculé que le coût d'un trajet ne dépasserait pas 2,10 fr., de sorte qu'il suffirait de sept voyageurs par trajet pour couvrir tous les frais et assurer un revenu de 4 o/o à l'entreprise.

Le premier ouvrage classique d'électricité ou de magnétisme qui ait été jamais imprimé est celui de *Gilbert*, le médecin de Jacques II d'Angleterre. Il a paru en 1600, et, suivant l'habitude du temps, a été écrit en latin. M. Mottelay vient d'en publier à New-York une traduction anglaise, chez M. Lost Wiley.

L'apparition de cet ouvrage, venant 293 ans après celui qui lui sert de modèle a donné lieu à une polémique assez singulière. Il s'est formé depuis plusieurs années en Angleterre un club électrique qui a pris le nom de Gilbert et qui se proposait de donner une traduction de ce chef-d'œuvre, dans lequel l'auteur a réuni 18 années de travaux continus.

En apprenant qu'ils étaient devancés en Amérique les membres du Club *Gilbert* n'ont pu retenir un mouvement de mauvaise humeur. Il a paru dans les journaux scientifiques anglais des lettres assez violentes, mais difficiles à comprendre, car une traduction qui voit le jour 293 ans après l'original peut difficilement être considérée comme trop hâtive. D'autre part il est difficile de soutenir que Gilbert soit devenu la chose de son club.

Lord Kelvin vient de présider à une cérémonie imposante dans laquelle il s'est trouvé à la tête de toute la science anglaise. Il n'est pas sans intérêt de raconter brièvement ce fait, qui fera époque dans la vie d'un des plus illustres électriciens du siècle.

Le 16 mars dernier M. Virchow a fait dans la grande salle de l'Université de Londres une conférence en anglais sur la *Position de la pathologie parmi les sciences médicales*.

On avait donné à cette *lecture* à laquelle assistaient toutes les notabilités présentes à Londres, un éclat extraordinaire. La présidence avait été décernée à lord Kelvin, qui, comme on le sait, est président de la Société royale de Londres. Ce savant, ce qui se fait très rarement, s'est rendu à son poste précédé des massiers et suivi par tous les officiers de la Société royale en grand uniforme Le soir lord Kelvin présidait encore le banquet donné à l'hôtel Métropolitain en l'honneur de M. Virchow.

En Amérique, le tramway électrique a des partisans et des adversaires, double avantage au dire des philosophes. Une feuille politique, l'*Evening Post*, de New-York, a procuré une bien douce satisfaction aux adversaires de l'électricité en cherchant à démontrer que l'introduction de la traction électrique sur les lignes de la West End Company de Boston aurait été une erreur financière désastreuse

Ce journal montre que depuis 1888 le capital de cette compagnie a dû être élevé de 148,660 francs à 347,210 francs, et que les dépenses d'exploitation ont passé de 44,000 francs à 62,500 francs par kilomètre de ligne, et de 8,000 à 8,500 francs par voiture-kilomètre; mais le rédacteur oublie soigneusement de dire que le nombre de voyageurs transportés s'est élevé également de 84,843,722 en 1889 à 126,310,781 en 1892, et que durant la même période le rapport des dépenses aux recettes est tombé de 82 à 76 o/o et le prix de revient du transport d'un voyageur de 0,206 à 0,190 centime, tandis que la recette nette par voyageur a passé de 0,047 à 0,06 centime.

L'article en question insiste aussi sur l'accroissement du nombre d'accidents. C'est là un résultat inévitable de l'accroissement du nombre de voitures en circulation et de la vitesse, mais comme aucune des victimes n'a été tuée ou blessée par l'électricité il est injuste de vouloir les mettre sur le compte du « trolley mortel ».

Un système de traction qui augmente dans de grandes proportions le trafic et qui fait en même temps augmenter la recette par voyageur a toutes les chances de se maintenir et de se développer, malgré les dénonciations mal fondées des journaux non techniques.

On nous prie d'annoncer la tenue à Rome, au mois de septembre prochain, d'une exposition internationale de médecine et d'hygiène, sous la présidence du professeur L. Pagliani, au ministère de l'intérieur. L'électricité servira à l'éclairage et à la force motrice; on n'admettra ni le gaz, ni le pétrole.

D'après une note présentée à la dernière session du Congrès international des chemins de fer, et analysée par M. Mallet, de la Société des ingénieurs civils, la longueur totale des chemins de fer en exploitation dans le monde entier s'élevait au commencement de 1891, au total de 617 285 kilomètres.

L'Amérique est la partie du monde où les chemins de fer ont pris le développement le plus considérable; elle ne représente pas moins de 54 centièmes du total. Les Etats-Unis en ont 268 400 kilomètres, le Canada 22 531, et la République Argentine 9 000. Les autres états ont des chiffres peu élevés relativement.

L'Europe présente 36 o/o de la longueur des chemins de fer du globe. Sur le continent, l'Allemagne est en tête avec 42 869 kilomètres; la France vient après avec 38 895, puis la Grande-Bretagne avec 32 297, la Russie avec 30 957 et l'Autriche-Hongrie avec 27 113. Si on rapporte la longueur des lignes à la population, la Suède vient en première ligne avec 16,8 kilom. par 10 000 habitants, la Suisse en second, avec 10,9 kilom. pour 10 000 habitants. La France, le Danemark, l'Allemagne, la Belgique et la Grande-Bretagne suivent de près avec les chiffres 9,6; 9,4; 8,7; 8,6 et 8,5; tandis que la Russie ne présente que 3,2 et la Turquie 2 kilomètres pour la même population.

L'immense territoire de l'Asie n'a que 5 1/2 o/o du total des chemins de fer et ce chiffre minimum est concentré dans un petit nombre de pays. L'Inde anglaise à 27 000 kilomètres, le Japon environ 27 000, la Russie d'Asie 1 500, les colonies anglaises 13,10, la Chine 200. On trouve encore quelques lignes de faible longueur dans les colonies françaises, espagnoles et portugaises.

De même l'Afrique a des chemins de fer répartis dans très peu de pays. L'Algérie et la Tunisie ont 3 100 kilomètres. La colonie du Cap 3 090, l'Égypte 1 544, Natal et le Transwaal environ 600. Le continent noir ne représente en tout que 1 1/2 o/o du total.

Les chemins de fer en Océanie, à l'exception d'une courte ligne dans les îles Hawaï, sont entièrement dans l'Australie et les îles voisines. Leur longueur représente 3 o/o du total des chemins de fer du globe.

Le capital total représenté par les chemins de fer du monde est de 183 milliards de francs; c'est une moyenne de 425 000 francs par kilomètre.

L'application des tramways électriques à double conducteur aérien, c'est-à-dire sans retour par la terre, est peu répandue. Toutefois, il y a à Cincinnati (Etats-Unis) plus de 150 kilomètres de lignes installées d'après ce système. Il est évident que l'on évite avec un circuit entièrement métallique les effets perturbateurs des courants dérivés sur les lignes téléphoniques. Mais le système présente quelques complications qui semblent compenser ses avantages.

L'Electric Traction and Power C° construit des moteurs électriques spécialement destinés à la traction dans les mines. Ces moteurs fonctionnant sous 200 volts développent 15 chevaux; leurs dimensions sont établies de façon à permettre leur emploi sur des voies de 60 centimètres de largeur seulement.

Les premières locomotives munies de moteurs de ce genre sont en service dans les mines de la compagnie Greenside, à Cumberland, où le courant est fourni par une chute d'eau.

Eclairage électrique.

A la fabrique de lampes à incandescence Volta, récemment établie à Schaerbeck, près de Bruxelles, on a installé :

Deux dynamos Schuckert, de 120 volts et 200 à 250 ampères; une de ces machines éclaire l'établissement, l'autre alimente les lampes reliées à la pompe à mercure.

Une troisième dynamo de 350 volts et 10 ampères sert pour la fabrication des filaments; une quatrième dynamo pour la photométrie.

Les machines à vapeur actionnent encore une pompe, un ventilateur pour la soufflerie, et une pompe foulante qui dessert les 50 pompes à mercure.

Cette fabrique produit journellement 2000 lampes à incandescence.

Le service des éclairages électriques intermittents par accumulateurs a été très bien accueilli par le public viennois. Le local de la Société des électriciens, par exemple, est ainsi éclairé par une installation d'accumulateurs dont on renouvelle les éléments au fur et à mesure des besoins.

L'*Electrical World* décrit la plus grande station d'éclairage électrique par lampes à arc, station de la Municipal Electric Light and Power Company, de Saint-Louis, dirigée par M. J. Ayer.

Cette usine comprend 63 machines de 60 lampes, 13 machines de 80 lampes et 2 machines de 75 lampes, toutes du type Wood. La machine Wood fournit normalement un courant d'une intensité constante de 9,6 ampères. Sa tension peut s'élever jusqu'à 2500 volts.

La Compagnie a maintenant en service 36 circuits d'éclairage des rues, d'une longueur totale de 850 kilomètres, alimentant 2100 arcs. 30 autres circuits d'abonnés atteignant 390 kilomètres de développement, alimentant 1500 arcs. Au total, l'usine alimente donc 3600 lampes à arc réparties sur 1240 kilomètres de conducteurs.

19 chaudières verticales produisent la vapeur nécessaire aux 7 machines Hamilton-Corliss de 640 chevaux.

Un tableau commutateur multiple arrangé comme les tableaux téléphoniques, avec fiches, cordons souples et spring-jacks, permet d'obtenir rapidement différentes combinaisons de couplage.

Les coussinets des machines reçoivent de l'huile par un système de tuyaux. L'huile circule d'une façon continue et est filtrée à travers de l'eau, du sable et du charbon de bois.

Télégraphie et Téléphonie.

En Autriche, l'Administration des postes a adopté un système de dépêches téléphonées. Les dépêches télégraphiques sont transmises téléphoniquement au destinataire.

Déjà du temps de Leverrier, les développements de la Télégraphie électrique étaient si grands, que cet homme célèbre avait pensé à faire de l'Observatoire de Paris un centre pour l'annonce des découvertes astronomiques. Mais il est mort sans avoir pu donner suite à son dessein.

Le projet de Leverrier a été exécuté en Allemagne à l'Observatoire de Kiel. C'est maintenant de Kiel que viennent les nouvelles astronomiques, même celles des découvertes faites par les observatoires français. Mais elles ne sont plus expédiées qu'aux journaux qui sont abonnés au bureau de Kiel. C'est ainsi, par exemple, que l'on a appris à Paris par le *New York Herald* la découverte de deux nouvelles planètes vues à Nice par M. Charloff.

Un des croiseurs français au service du protectorat de Madagascar a péri dans le canal de Mozambique. Il a été surpris par un cyclone qui s'était d'abord déchaîné sur l'île de la Réunion. C'est la quatrième fois depuis dix ans que notre marine éprouve un sinistre dans des conditions identiques. Malheureusement il n'existe pas de ligne télégraphique de la Réunion à Madagascar, et il n'en existera pas aussi longtemps que le gouvernement n'en établira point une à ses frais. En effet, le gouvernement britannique a pris soin de faire passer par les Seychelles la ligne qu'il construit en ce moment pour relier Maurice à Zanzibar. Il suffit de jeter un coup d'œil sur la carte pour se convaincre que par cette voie détournée la longueur de la ligne projetée a éprouvé une énorme augmentation, sans autre avantage que de diminuer le trafic de tout ce qu'aurait apporté la ligne de Madagascar.

Au commencement de l'année, le 20 000e poste d'abonné a été relié au réseau téléphonique de Berlin. Les chiffres suivants montrent avec quelle rapidité la téléphonie s'est développée dans cette capitale.

Le réseau fut mis à la disposition du public le 1er avril 1882, avec 50 abonnés. A la fin de cette même année, ce nombre s'était élevé à 458, et voici les nombres d'abonnés constatés aux premiers janvier des années suivantes :

	Nombre d'abonnés
1883	1069
1884	1625
1885	2412
1886	4324
1887	5507
1888	6955
1889	9199
1890	11854
1891	14490
1892	17013
1893	20000

Le 7 février dernier on a inauguré aux Etats-Unis une nouvelle ligne téléphonique à grande distance surpassant en longueur celle de New-York à Chicago de plusieurs centaines de kilomètres. Il s'agit de la ligne Boston-Chicago, traversant les états de Massachusetts, Connecticut, New-York, New-Jersey, Pensylvanie et Indiana. Providence et New-York font partie des villes que touche cette ligne.

La longueur totale est de 1930 kilomètres, avec une moyenne de 28 poteaux par kilomètre, soit au total 54000 poteaux. Le fil employé est en cuivre écroui de 4 millimètres de diamètre, pesant 122 kilogrammes par kilomètre. Il a donc été employé dans la construction de cette ligne 473000 kilogrammes de cuivre. Avec les matériaux employés pour les faibles distances, le poids de cuivre n'eût été pour cette ligne que de 187500 kilogrammes.

Sur les lignes téléphoniques interurbaines des Etats-Unis on tient toujours prêts une quarantaine de kilomètres de câble pour les réparations rapides en cas d'accident. Ce câble est enroulé par longueurs de 500 mètres sur de fortes bobines que l'on peut immédiatement charger dans le fourgon d'un train ou sur un camion dès que l'on reçoit l'annonce d'une interruption.

Ce câble est formé de sept conducteurs enroulés autour d'une âme en fils d'acier tournés. Il est très robuste: on peut le tendre au-dessus des maisons, l'accrocher aux poteaux, aux arbres, aux haies, le coucher sur les traverses de chemin de fer sans crainte de détérioration.

Imprimeur-Gérant : V. Nory.

Imprimerie de La Lumière Électrique. — Paris
31, boulevard des Italiens.

La Lumière Électrique

Journal universel d'Électricité

31, Boulevard des Italiens, Paris

DIRECTEUR : Dr CORNÉLIUS HERZ

XVe ANNÉE (TOME XLVII) SAMEDI 1er AVRIL 1893 N° 13

SOMMAIRE. — Sur l'électrification de la gutta-percha ; E. Brylinski. — Contribution à la théorie de l'électrolyse par courants alternatifs ; Dr Riccardo Malagoli. — Les lampes à incandescence ; Gustave Richard. — Chronique et revue de la presse industrielle : Le calcul des transformateurs et des bobines de réaction, par J. Witcher. — Coupe-circuit pneumatique Bentley. — Circuit d'épreuve Scribner, pour tableaux téléphoniques multiples. — Revue des travaux récents en électricité : Courbes d'aimantation du fer sous l'influence des courants alternatifs, par MM. J.-E. Moore et E. M. Tingley. — Méthode magnétométrique pour la mesure des pertes dans le fer sous l'action de forces magnétisantes alternatives, par J.-E. Moore. — Méthode de réduction à zéro pour la mesure des pouvoirs inducteurs de liquides conducteurs, par M. F. Heerwagen. — Simplification des instruments de mesure. — Faits divers. — Table des matières.

SUR L'ELECTRIFICATION DE LA GUTTA-PERCHA

I. — M. A. Hess a publié récemment dans ce journal (1) un intéressant article dans lequel, s'appuyant sur les expériences de M. Bouty d'où résulte, au moins pour certains corps, la coexistence du pouvoir inducteur diélectrique et de la conductibilité, il a développé l'hypothèse que les isolants offriraient au passage du courant une résistance infinie, et que tous les phénomènes d'électrification et de décharge que présentent ces corps seraient en réalité dus à de simples courants de charge à travers un diélectrique non homogène, mais de constitution très simple.

Ces idées sont très séduisantes, et comme les vérifications expérimentales qu'a données M. Hess de ses conclusions consistaient plutôt en un accord général entre la marche des phénomènes et les résultats du calcul, il nous a semblé utile de faire cadrer ses formules avec quelques séries d'essais faits avec soin au cours de mesures d'isolement d'un câble sous-marin. Les mesures étaient faites à l'usine, sur le câble terminé, dans les meilleures conditions pour avoir des résultats sérieux.

Parmi toutes les industries qui ont à se servir des isolants, une de celles qui mettent en jeu les plus gros capitaux, celle assurément pour laquelle il est le plus nécessaire d'avoir des données aussi complètes et aussi certaines que possible sur la valeur de la matière employée, celle par conséquent qui a le plus grand intérêt à voir progresser les connaissances humaines sur les propriétés des isolants, est l'industrie des câbles sous-marins.

Or, l'isolement d'un câble sous-marin, ou pour mieux dire la série de conditions à laquelle doit satisfaire la gutta-percha au point de vue électrique, est une des choses les plus mal définies qui existent. On s'accorde assez généralement à mesurer à 24° C. l'isolement par unité de longueur, après deux minutes d'électrification, et à stipuler que cet isolement ne sera pas inférieur à une certaine limite. Cette clause a simplement pour but de constater qu'il n'existe pas dans le câble de défauts d'une certaine importance.

Mais cette condition ne définit en rien les qualités de la gutta-percha au point de vue électrique, et ne suffit même pas à établir la non existence de très petits défauts. Pour maintenir entre certaines limites les qualités des mélanges

(1) *La Lumière Électrique*, 26 novembre et 10 décembre 1892.

de guttas employées, les uns stipulent que l'isolement au bout de deux minutes ne devra pas dépasser une certaine limite supérieure dont la fixation est jusqu'à un certain point arbitraire; d'autres stipulent que l'isolement au bout de cinq ou de dix minutes sera dans un rapport donné avec l'isolement au bout de deux minutes; la fixation de ce rapport est tout aussi arbitraire, et la tolérance qu'on est obligé d'admettre pour les écarts l'est encore bien davantage.

En ce qui concerne les très petits défauts, on stipule toujours que l'électrification doit être régulière. Mais on est fort embarrassé pour fixer d'une manière rationnelle la force électromotrice à employer, les intervalles auxquels doivent se faire les lectures, la grandeur des écarts qu'il convient de tolérer avec la courbe plus ou moins rigoureuse que l'on trace au moyen des résultats expérimentaux.

Ces conditions sont donc très mal définies, et ceux qui ont un intérêt sérieux à les préciser cherchent quelles modifications il conviendrait de leur apporter. Malheureusement, rien ne les guide dans cette recherche que le sentiment, et il en résulte que, ne pouvant apprécier jusqu'à présent la valeur de leurs propositions, on s'en tient toujours aux résultats acquis. A ce point de vue, toute théorie qui fixerait, même imparfaitement, le mécanisme de fonctionnement des isolants aurait une grande valeur, et c'est pour cette raison que l'essai de M. Hess nous avait vivement frappé.

Un exemple n'est pas inutile pour faire ressortir cette importance. Un électricien de grand mérite nous exprimait, il n'y a pas bien longtemps, sa surprise de voir prendre encore l'isolement après ce temps absolument arbitraire de deux minutes d'électrification, et nous demandait pourquoi, après avoir pris les déviations pendant trente minutes, par exemple, on ne prolongerait pas la courbe d'électrification de façon à obtenir son asymptote pour calculer l'isolement limite, le temps croissant indéfiniment. Si on admet les idées de M. Hess, l'asymptote coïncide avec l'axe des intensités, et l'isolement croît indéfiniment avec le temps, et croît même infiniment plus vite que le temps. On voit bien qu'il n'est pas inutile de se rendre compte de l'exactitude de la théorie de M. Hess.

II. — Nous avons d'abord essayé de comparer la formule de M. Hess avec les résultats expérimentaux, mais nous avons renoncé à cette méthode, assez compliquée comme calculs, en raison de la structure des paramètres. Il nous a semblé préférable d'employer la véritable méthode d'investigation physique et de chercher à représenter les résultats expérimentaux par une formule empirique, quitte à voir ensuite, si possible, quelles considérations théoriques pourraient amener à cette formule ou à une formule suffisamment voisine.

Nous possédions huit séries d'expériences faites dans les mêmes conditions de soin; les lectures étaient faites toutes les minutes pendant trente minutes d'électrification négative, après une longue mise à la terre, et la constatation qu'il ne restait pas de résidu appréciable. On tenait compte des variations, toujours très faibles, du zéro et des variations, généralement insensibles, de la constante du galvanomètre. Puis on lisait la décharge, on neutralisait et mettait ensuite le câble à la terre pendant environ une heure, jusqu'à ce que le résidu fût assez faible pour qu'on pût en tenir compte sans introduire d'erreur sensible. On faisait alors par le courant positif une seconde série de lectures de trente minutes, et cette série, corrigée autant que possible des perturbations connues, servait de contrôle de la précédente.

L'une de ces séries avait rapport à un câble d'environ 30 kilomètres de longueur, dont la température moyenne était de 14° C. Toutes les autres se rapportaient à un câble d'environ 1150 kilomètres, dont les températures moyennes étaient respectivement 9°,7, 10°, 10°,3, 10°,5, 11°,1, 11°,3 et 11°,2.

Ces températures étaient à vrai dire non pas les températures moyennes de la gutta, mais celles du conducteur en cuivre placé à l'intérieur, dont on connaît exactement la résistance à 24° C. d'après les essais de réception des bobines séparées faits à cette température. La température du cuivre n'est assurément pas rigoureusement égale à celle de la gutta, mais la comparaison avec les indications données par un bon thermomètre plongé dans l'eau des cuves où est lové le câble a permis de constater que l'écart n'était en général pas considérable, et, comme on a ainsi pour les températures un point de départ bien défini, nous l'avons adopté.

Nous avons eu occasion ensuite de faire une

série d'expériences sur un câble à peu près de même longueur (1200 kilomètres environ) fabriqué vers la même époque avec des guttas très analogues; cette nouvelle série a été faite dans des conditions très différentes. On ne suivait l'électrification que pendant cinq minutes, mais en faisant les lectures toutes les quinze secondes, de sorte qu'on n'a déterminé que la partie initiale de la courbe, mais qu'elle était mieux déterminée que dans le cas précédent. La courbe d'électrification positive servait toujours de contrôle à la courbe négative; la température moyenne du cuivre était de 9°,5. Par suite d'une baisse soutenue de température pendant les journées qui ont précédé cet essai, l'écart entre la température moyenne de la gutta et celle du cuivre pouvait être un peu plus élevé que dans les cas précédents; il n'atteignait certainement pas 1°,5. Le galvanomètre n'étant pas apériodique, les résultats correspondant à 15 et à 30 secondes après l'établissement du courant peuvent présenter une légère incertitude.

La pile employée était, pour les premières séries, composée de 200 éléments Leclanché petit modèle, à agglomérés et à liquide immobilisé au moyen de l'Agar-Agar. Dans la dernière série, on a employé une pile de 200 éléments Callaud, d'un modèle moyen, se rapprochant beaucoup du grand modèle de l'Administration des télégraphes.

Il ne nous paraît pas inutile de donner ci-dessous ces résultats expérimentaux, qui pourront servir à ceux qui poursuivront les études sur ce sujet. Pour les huit premières séries nous avons multiplié les nombres de chacune par un paramètre approprié, de façon à ramener la déviation, au bout de deux minutes, à un chiffre toujours le même, que nous avons pris arbitrairement égal à 500, et à pouvoir comparer ainsi les séries successives au premier coup d'œil. Nous y avons joint une neuvième série, dont les nombres sont la moyenne de plusieurs séries effectuées sur le grand câble, la température étant également la température moyenne; les chiffres de cette série renferment vraisemblablement moins d'écarts accidentels que les autres.

Minutes	Température 14°	Température 9° 7	Température 10°	Température 10° 3	Température 10° 5	Température 11° 1	Température 11° 3	Température 11° 2	Température 10° 6
1	533	550	563	544	542,5	541,5	536	542	545,6
2	500	500	500	500	500	500	500	500	500
3	485	480	478	481	480,5	481	483	482	480,8
4	470,5	466,5	466,5	469	468,5	470,5	471,5	469	468,8
5	461,5	458	460	460	459,5	462	462,5	461	460,4
6	452,5	451	451	452,5	452	455	456	454,5	453,1
7	446,5	445,5	444,5	447	446,5	448	450	449	447,2
8	437,5	440	440	440,5	441	441	445	443,5	441,6
9	431,5	434,5	435	436	435,5	436	440,5	439	436,6
10	425,5	429	430	431,5	431	431	437	434,5	432
11	419,5	425,5	425,5	427	426	425,5	431	430	427,2
12	413,5	422	422	422,5	422,5	421,5	426	426,5	423,3
13	410	418	419,5	419	418	417	421,5	422	419,3
14	405	414,5	416	415	414	413,5	418	419	415,7
15	399	411	412	412,5	410,5	410	415,5	414,5	412,3
16	393	407	408,5	409	408	406	413	412	409,1
17	390	403,5	406	406	403	402	410	408	405,5
18	387	402	402,5	403,5	400,5	399	406	404,5	402,6
19	384	399	399	399,5	397,5	395,5	402,5	402	399,3
20	378	396	396,5	397	396	392	399,5	399	396,6
21	375	393,5	393	395	392	389,5	396,5	396,5	393,7
22	372	391	391,5	392,5	390,5	386,5	393	393,5	391,2
23	366	389	388,5	389,5	386,5	384	391	391	389,2
24	363	386,5	387	387	383	381,5	389	388	386
25	360	384,5	383,6	385	381	379	386,5	385,5	383,6
26	354	382	381	382,5	379	376,5	384	383	381,1
27	351	380	378,5	380,5	376,5	373,5	381	381	378,7
28	348	378	377,5	378	373,5	371	379,5	378	376,5
29	346,5	374,5	373,5	376	371	369,5	377,5	376,5	374,1
30	345	372	371,5	374	369	367,5	375,5	374,5	372

Le paramètre employé pour ramener à 500 le nombre correspondant à la deuxième minute était d'environ 6 pour la première série et 1,8 pour les autres, de telle sorte qu'une erreur de lecture de 1 division, qui peut avoir lieu, correspondrait à une erreur de 6 unités sur les nombres de la première colonne et à une erreur de deux unités sur les autres.

Dans ces limites, c'est-à-dire sans tenir compte d'autres erreurs, on constatera que, sauf pour la première minute, sur laquelle règne toujours une certaine incertitude, les séries 2, 3 et 4 sont identiques entre elles, ainsi que les séries 7 et 8. Les séries 5 et 6 sont plus notablement différentes, et nous croyons que l'on doit attribuer ces écarts aux erreurs faites dans la correction des variations du zéro, de la constante, etc. Il est d'ailleurs à remarquer que le maximum des écarts n'atteint que 2 o/o, c'est-à-dire un chiffre très peu élevé, et nous estimons qu'on doit considérer toutes ces séries comme concordantes.

En ce qui concerne les essais de l'autre câble faits ultérieurement par 15 secondes, nous avons conservé les chiffres expérimentaux eux-mêmes, et inscrit à côté des lectures de la décharge, ramenées au même shunt que celles de l'électrification, bien qu'en réalité elles aient été observées avec un shunt dix fois plus fort.

min.	secondes	Électrification	Décharge	min.	secondes	Électrification	Décharge
0	15	183	»	2	45	85	9,65
	30	137	»	3		83,5	8,85
	45	115	35		15	82,5	8,1
1		105	25,5		30	82	7,5
	15	99	21,1		45	81	6,95
	30	95	17,7	4		80,5	6,5
	45	92	15,1		15	80	6,15
2		89,5	13,4		30	79,5	5,75
	15	87,5	11,9		45	79	5,4
	30	86	10,7	5		78,5	5,15

III. — Nous avons essayé d'abord de représenter les résultats expérimentaux par une formule de la forme

$$\delta = Ae^{-\alpha t} + Be^{-\beta t},$$

où δ, qui représente la déviation, est proportionnel à l'intensité du courant du câble à l'origine. Cette formule est, en somme, la formule à laquelle est arrivé M. Hess comme conclusion de ses considérations théoriques.

Nous avons rapidement reconnu l'impossibilité de faire cadrer les chiffres donnés par l'expérience avec une pareille formule, et l'allure très nettement systématique des résidus nous a indiqué sans contestation possible que ce manque de concordance tenait non pas aux erreurs de l'expérience, mais à ce que la forme même de la fonction choisie était défectueuse.

Néanmoins, cette somme d'exponentielles représentait approximativement la marche du phénomène, de telle sorte qu'il nous a paru de suite qu'il était possible d'arriver à un résultat en la modifiant convenablement. Nous nous sommes alors appuyé sur une remarque de M. Hess disant que si l'on admet qu'aucun des deux corps qui constituent son diélectrique n'a un isolement infini, sa forme de fonction continue à représenter les phénomènes, à la seule condition d'ajouter à l'intensité un terme constant, et nous avons essayé la formule

$$\delta = Ae^{-\alpha t} + Be^{-\beta t} + D.$$

Il ne paraît pas aisé *a priori* de déterminer les cinq inconnues de cette équation; le calcul ne peut se faire que par approximations successives, à ce qu'il semble. Par ce procédé, on arrive à déterminer des valeurs approchées des paramètres, et l'on constate immédiatement que ces valeurs respectives sont telles qu'au bout de la dixième minute, le premier terme de la formule a pris une valeur négligeable, de telle sorte que pour $t > 10$, la formule se réduit à

$$\delta = Be^{-\beta t} + D.$$

Si dès lors nous appelons δ', δ'' et δ''' les déviations correspondant à 10, 20 et 30 minutes e que nous posions

$$e^{-600\beta} = x$$

nous aurons

$$\begin{cases} \delta' = Bx + D, \\ \delta'' = Bx^2 + D, \\ \delta'' = Bx^3 + D. \end{cases}$$

D'où

$$\begin{cases} x = \dfrac{\delta - \delta}{\delta' - \delta'}, \\ \beta = - \text{—} \\ B = \dfrac{-\delta}{x(1 - x)}, \\ = \dfrac{\delta - \delta x}{1 -} \end{cases}$$

Au moyen des paramètres ainsi établis, on calcule les valeurs de

$$\delta_1 = Be^{-\beta t} + D$$

pour toutes les valeurs du temps; on constate si l'on a une concordance suffisante pour les temps qui dépassent dix minutes, et de 0 à 10 minutes, on fait les différences entre les déviations observées et les déviations δ_1 calculées : ces différences doivent satisfaire à une loi exponentielle simple.

Les calculs se font ainsi de la façon la plus aisée. Il est prudent, pour s'assurer qu'il ne s'est pas produit d'écart accidentel précisément sur l'un des nombres choisis pour le calcul, de tracer la courbe qui les relie aux quelques déviations précédentes et suivantes, et de voir si elle est régulière ou, dans le cas contraire, si les irrégularités portent sur les nombres choisis ou sur d'autres. On évite ainsi la plupart du temps d'avoir à faire des corrections aux premières valeurs déterminées pour les paramètres.

Nous avons constaté d'abord, non sans une certaine surprise, que cette forme de fonction s'appliquait fort bien au petit câble de 30 kilomètres. Nous avons ensuite constaté une concordance non moins grande pour la série moyenne sur le grand câble, et pour toutes les séries du grand câble. Nous ne donnerons le tableau de la comparaison que pour les séries n°s 1, 9 et 7, pour ne pas fatiguer le lecteur par un abus de chiffres.

Les formules pour ces diverses séries sont :

Série n° 1 $\delta = 74{,}5\, e^{-0{,}01016t} + 224\, e^{-6{,}07\times10^{-4}t} + 270.$

Série n° 9 $\delta = 97{,}1\, e^{-0{,}01016t} + 167\, e^{-6{,}066\times10^{-4}t} + 316.$

Série n° 7 $\delta = 84{,}5\, e^{-0{,}01081t} + 162\, e^{-6{,}76\times10^{-4}t} + 327{,}5$

La concordance entre les résultats expérimentaux et ceux du calcul ressort du tableau ci-dessous :

Série n° 1			Série n° 9			Série n° 7		
observé	calculé	différence	observé	calculé	différence	observé	calculé	différence
533	526,5	+ 6,5	546,5	529,8	+ 16,7	536	527	+ 9
500	500	0	500	500	0	500	500	0
485	483	+ 2	480,8	481,3	— 0,5	483	483	0
470,5	470,5	0	468,8	469	— 0,2	471,5	473,2	— 1,7
461,5	460,5	+ 1	460,4	459,9	+ 0,5	462,5	462,8	— 0,3
452,5	452	+ 0,5	453,1	452,5	+ 0,6	456	456,2	— 0,2
446,5	444,5	+ 2	447,2	446,9	+ 0,3	450	450,4	— 0,4
437,5	438	— 0,5	441,6	441,8	— 0,2	445	445	0
431,5	431,8	0	436,6	437	— 0,4	440,5	440,7	+ 0,2
425,5	425,5	0	432	432,3	— 0,3	437	438,4	+ 1,4
419,5	420	— 0,5	427,2	428,1	— 0,9	431	431,5	— 0,5
413,5	415	— 1,5	423,3	424	— 0,7	426	427	— 1
410	409	+ 1	419,3	420,1	— 0,8	421,5	422	— 0,5
405	404	+ 1	415,7	416,2	— 0,5	418	419,5	— 1,5
399	400	— 1	412,3	412,7	— 0,4	415,5	415,5	0
393	395	— 2	409,1	409,3	— 0,2	413	412	+ 1
390	390	0	405,5	406	— 0,5	410	408,5	+ 1,5
387	386	+ 1	402,6	402,7	— 0,1	406	405,5	+ 0,5
384	382	+ 2	399,3	399,6	— 0,3	402,5	402,5	0
378	378	0	396,6	396,6	0	399,5	399,5	0
375	374	+ 1	393,7	393,7	0	396,5	396,5	0
372	370,5	+ 1,5	391,2	391	+ 0,2	393	394	— 1
366	367	— 1	389,2	388,3	+ 0,9	391	391	0
363	363,5	— 0,5	386	385,7	+ 0,3	389	389	0
360	360	0	383,6	383,2	+ 0,4	386,5	386,5	0
354	357	— 3	381,1	380,8	+ 0,3	384	384	0
351	354	— 3	378,7	378,5	+ 0,2	381	381	0
348	351	— 3	376,5	376,3	+ 0,2	379,5	379,5	0
346,5	348	— 1,5	374,1	374,1	0	377,5	377,5	0
345	345	0	372	372	0	375,5	375,5	0

Si nous mettons à part les déviations correspondant à la première minute, toutes plus faibles par la formule que celles que donne l'expérience, ce tableau nous montre une concordance remarquable entre le calcul et l'observation.

Pour la première série, en effet, l'écart maxi-

mum est de 3, ce qui ne correspond, comme nous l'avons vu, qu'à une erreur d'une demi-division sur l'échelle : ce sont là des erreurs de lecture fréquentes avec les échelles très finement divisées dont nous faisions usage. Les écarts ont d'ailleurs un caractère accidentel remarquablement net.

Pour la série n° 9, l'écart maximum est de 0,9, qui correspond aussi à une demi-division. Les écarts affectent une allure légèrement systématique, mais il est facile de se rendre compte que ce fait tient à ce que la déviation observée au bout de 10 minutes est un peu erronée, et qu'en la corrigeant légèrement on arriverait à une concordance beaucoup plus parfaite : ce calcul assez long est d'ailleurs dépourvu d'intérêt.

La série n° 7 est plus remarquable encore ; elle est, en effet, une série toute nue, et non pas comme la précédente une moyenne de plusieurs autres dans laquelle les erreurs accidentelles sont fortement atténuées. Malgré cela, on n'y remarque que quelques écarts accidentels, tous inférieurs à une division, et la concordance est rigoureuse, sauf l'écart de la vingt-deuxième minute, pendant les onze dernières minutes. Nous croyons pouvoir considérer cette concordance comme décisive.

Le point douteux qui reste est la déviation au bout de la première minute ; quelle que soit l'incertitude qui peut régner sur cette lecture, les résultats calculés sont tous sans exception plus faibles que l'observation, et l'écart est en général trop considérable pour pouvoir être attribué à une erreur de lecture.

Ce point semblait de prime abord pouvoir être éclairé par l'étude de l'électrification du second câble, pendant cinq minutes, par quart de minute. Nous avons donc essayé de la représenter par une formule de même forme, et nous sommes arrivé au résultat suivant :

On peut représenter l'électrification par la formule

$$\delta = 124\,e^{-0,04679\,t} + 40\,e^{-0,0096\,t} + 76,5,$$

et la décharge par la formule

$$\delta = 88,6\,e^{-0,03659\,t} + 22,25\,e^{-0,004875\,t},$$

ainsi qu'il ressort du tableau ci-contre :

L'électrification est assez bien représentée par la formule indiquée plus haut ; les écarts sont, en mettant à part les premiers nombres, faibles et de caractère accidentel. Ils prennent une valeur plus considérable pour les premières déviations, ainsi qu'un caractère tant soit peu systématique. Sans refaire un calcul assez fastidieux, on voit du premier coup d'œil que les déviations seraient très bien représentées à partir de la troisième inclusivement en prenant des valeurs absolues légèrement plus faibles pour A et α.

Minutes	Secondes	Électrification			Décharge		
		Observé	Calculé	Différence	Observé	Calculé	Différence
0	15	183	172,6	+10,4	»	»	»
	30	137	137	0	»	»	»
	45	115	117,6	−2,6	35	35	0
1		105	106,5	−1,5	25,5	26,5	−1
	15	99	99,7	−0,7	21,1	21,2	−0,1
	30	95	95,4	−0,4	17,7	17,7	0
	45	92	92,1	−0,1	15,1	15,2	−0,1
2		89,5	89,6	−0,1	13,4	13,5	−0,1
	15	87,5	87,6	−0,1	11,9	12,14	−0,24
	30	86	86	0	10,7	11,07	−0,37
	45	85	84,7	+0,3	9,65	10,16	−0,51
3		83,5	83,6	−0,1	8,85	9,37	−0,52
	15	82,5	82,6	−0,1	8,1	8,66	−0,56
	30	82	81,8	+0,2	7,5	8,03	−0,53
	45	81	81,1	−0,1	6,95	7,43	−0,48
4		80,5	80,5	0	6,5	6,91	−0,41
	15	80	80	0	6,15	6,42	−0,27
	30	79,5	79,5	0	5,75	5,97	−0,22
	45	79	79	0	5,4	5,55	−0,15
5		78,5	78,7	−0,2	5,15	5,15	0

Cette modification aurait pour résultat de donner un nombre trop faible d'environ 4 divisions pour la déviation de 30 secondes, et de plus de 15 divisions pour celle de 15 secondes. Le premier écart serait à la rigueur admissible, les lectures devenant assez difficiles au Thomson aussi près de l'origine des temps, mais nous ne croyons pas que le second puisse l'être. Il nous semble évident qu'ici encore la formule à deux exponentielles n'est plus suffisante et qu'il faudrait ajouter au moins une troisième exponentielle pour arriver à un résultat satisfaisant dans l'espace des trente premières secondes.

La comparaison avec le câble précédent suggère une réflexion : le terme exponentiel en αt du dernier câble, qui devient évanouissant avant la troisième minute, doit-il être considéré comme correspondant au terme exponentiel en αt du câble précédent, qui ne devient négligeable, en tenant compte des grandeurs relatives des déviations, qu'à la huitième minute ?

Ces deux câbles, nous l'avons dit, sont à peu

près de même longueur ; ils ont été faits presque à la même époque, avec des guttas analogues, dont les constantes électriques étaient voisines. Il n'y a donc rien dans la nature même des guttas qui puisse expliquer une pareille variation du paramètre α. Et si l'on pousse plus loin la comparaison, on remarque que le paramètre β du dernier câble est presque identique au paramètre α du précédent, ces deux nombres étant respectivement 0,0096 et 0,01016.

Si l'on rapproche cette coïncidence du fait constaté plus haut que la formule adoptée pour les essais de trente minutes donne des résultats trop faibles pour la première minute, on arrive à conclure que ces deux exponentielles représentent bien un seul et même terme et qu'au delà de trente secondes l'électrification d'un câble sous gutta peut s'exprimer par la formule

$$\delta = Ae^{-\alpha t} + Be^{-\beta t} + De^{-\delta t} + F.$$

La décharge est moins bien représentée que l'électrification : les écarts ont un certain caractère systématique que nous n'avons pu réussir à faire disparaître en modifiant les valeurs des paramètres. La concordance est néanmoins suffisante pour qu'on puisse faire une remarque importante, c'est que les exposants des exponentielles sont très différents de ceux correspondant à l'électrification, et qu'il est impossible, en prenant ces derniers, d'arriver à une représentation même approximative de la décharge.

Or, il nous paraît évident que si une théorie où n'interviennent que les courants d'induction et de conduction, sans qu'on fasse entrer en jeu les effets moléculaires, amène à adopter pour l'électrification une expression de la forme

$$\delta = \sum_{0}^{K} A_n e^{-\alpha_n t},$$

cette même théorie doit conduire à adopter pour la décharge une expression telle que

$$\delta = \sum_{1}^{K} B_n e^{-\alpha_n t},$$

et l'impossibilité d'arriver à un résultat de cette nature pour le câble cité nous paraît un puissant argument en faveur de l'*hystérésis diélectrique*, dont M. Hess n'admet pas l'existence. Nous nous hâtons d'ajouter que cet exemple unique est insuffisant pour conclure et qu'il serait nécessaire de pouvoir constater le fait sur plusieurs séries d'expériences faites avec grand soin dans des conditions variées.

IV. — Il est très facile de refaire la théorie, dans le cas où nous nous sommes placé. Nous supposons en effet la gutta formée d'un diélectrique de résistance finie, dans lequel sont répartis des corpuscules conducteurs, doués du pouvoir inducteur diélectrique, et de dimensions petites par rapport à leurs distances. Si on considère les tubes de flux et les surfaces équipotentielles d'un tel milieu, on se rend compte qu'il est équivalent à un système composé de la façon suivante.

Considérons un condensateur C_1 shunté par une résistance R_1 et mettons en série avec lui un condensateur C_2 shunté par une résistance R_2 ; sur les bornes extrêmes plaçons en dérivation un condensateur C_3, puis une résistance R_3 telle que l'on ait

$$C_3 R_3 = C_1 R_1.$$

Si nous mettons plusieurs des groupes ainsi formés en série l'un sur l'autre pour former un groupe plus complexe, et si enfin nous groupons en dérivation un certain nombre de ces systèmes complexes, nous obtenons une image fidèle de notre enveloppe en gutta.

Bien que ce système ait l'air compliqué, la mise en équation du problème s'y fait très simplement, et la résolution des équations différentielles auxquelles on arrive est immédiate. Nous laisserons de côté ces calculs toujours un peu fastidieux parce que, si on arrive bien à une formule telle que

$$i = Ae^{-\alpha t} + Be^{-\beta t} + D,$$

où i désigne l'intensité du courant qui traverse le galvanomètre, la structure des paramètres α, β, A, B, D est tellement compliquée qu'ils ne présentent aucun intérêt réel.

En faisant certaines hypothèses sur les grandeurs relatives des diverses capacités et résistances inconnues, on arrive à déterminer certains d'entre eux, mais sans pouvoir vérifier si les hypothèses faites sont suffisamment justifiées.

Il nous paraît simplement utile de retenir que cette conception de l'isolant amène à une formule contenant deux exponentielles seulement, et que,

comme nous avons reconnu la défectuosité de cette formule dans le voisinage de l'origine des temps, elle est insuffisante. Il faut, ou admettre qu'il y a plusieurs espèces de conducteurs noyés dans la masse diélectrique, ou admettre l'existence d'autres phénomènes de nature moléculaire.

On peut cependant faire à ce propos une remarque qui n'est pas dépourvue d'intérêt. Nous avons vu qu'à partir de la dixième minute l'électrification peut être représentée par la formule simple

$$\delta = Be^{-\beta t} + D,$$

ce qui veut dire qu'à ce moment les corps étrangers à la gutta proprement dite ont pris leur charge presque complète et n'interviennent plus dans les phénomènes d'une façon sensible. Le câble se comporte donc comme un simple condensateur de capacité C et d'isolement R et, si nous désignons par E la force électromotrice de la pile, par V et O les potentiels des deux armatures, par r la résistance du circuit extérieur et par i l'intensité à l'entrée du câble, nous aurons

$$\begin{cases} i = C\dfrac{dV}{dt} + \dfrac{V}{R}, \\ V = E - ri. \end{cases}$$

D'où

$$(R + r)i + CRr\frac{di}{dt} = E,$$

équation dont l'intégrale, en supposant la charge nulle à l'origine du temps, est

$$i = \frac{E}{R+r}\left[1 + \frac{R}{r}e^{-\frac{R+r}{CRr}t}\right]$$

Comparons notre formule empirique, il viendra

$$\frac{R}{r} = \frac{B}{D} = \lambda,$$

$$\beta = \frac{R+r}{CRr} = \frac{1+\lambda}{CR}.$$

La formule nous montre d'ailleurs que $R + r$ représente l'isolement proprement dit de la gutta, celui qui correspond à la déviation limite D.

Si donc nous désignons par ρ l'isolement au bout de deux minutes, nous aurons

$$R + r = R\left(1 + \frac{1}{\lambda}\right) = \frac{500}{D}\rho.$$

d'où

$$R = \frac{500\,B}{D(B-D)}\rho,$$

et par suite

$$C = \frac{B+D}{D\beta R} = \frac{(B+D)^2}{500\,B\beta\rho}.$$

D'ailleurs, le produit $C\rho$, qui a les dimensions d'un temps intervenant seul dans cette formule finale, peu importe que ρ représente l'isolement total ou l'isolement par unité de longueur. Nous prendrons donc pour ρ l'isolement par mille, exprimé en mégohms, et nous devrons obtenir pour C la capacité par mille exprimée en microfarads.

Pour le petit câble (1re série) nous avons :

$$B = 224,$$
$$D = 270,$$
$$\beta = 6 \times 10^{-4},$$
$$\rho = 5400.$$

Nous en déduisons

$$C = 0{,}666.$$

Pour le grand câble (7e série), nous avons :

$$B = 162,$$
$$D = 327{,}5,$$
$$\beta = 6{,}76 \times 10^{-4},$$
$$\rho = 8650.$$

Nous en déduisons

$$C = 0{,}506.$$

Ces deux valeurs, quoique sensiblement différentes, sont du même ordre : elles sont notablement supérieures à la valeur 0,3 donnée par l'expérience.

Nous ne rechercherons pas ici dans une discussion approfondie les causes de cet écart. Il nous semble suffisant de constater que la valeur de la capacité calculée d'après une série d'expériences faites pour mesurer l'isolement et dont, par suite, les conditions n'ont pas été étudiées en vue d'obtenir avec précision la capacité, est du même ordre que la capacité mesurée par les méthodes directes. Ce résultat présente un certain intérêt.

Nous ne nous appesantirons pas davantage sur ce fait que la formule que nous venons d'établir donne pour la résistance r une valeur de plusieurs mégohms, alors qu'elle n'est en réalité que de quelques milliers d'ohms. Après réflexion, il semble assez naturel que l'r qui sert dans cette formule soit un r de convention, très

différent de la résistance véritable du circuit extérieur, puisque la formule est tout à fait incapable de représenter les phénomènes qui se passent pendant les premières minutes, et ne devient appréciable qu'à partir de la dixième minute.

Mais il nous semble intéressant de faire ressortir une conséquence indirecte des recherches que nous avons faites en vue d'établir la concordance entre la capacité calculée et la capacité observée. Nous nous sommes demandé si, en ne chargeant que 15 secondes le câble pour mesurer sa capacité, on observait bien la capacité totale, et non pas seulement une fraction de cette capacité.

Nous avons établi le fait expérimentalement pour un câble long de 17 kilomètres environ, dont la capacité est de 2,71 φ. Nous avons choisi intentionnellement un petit câble, pour éviter les effets perturbateurs qui se produisent sur les longs câbles par suite de la vitesse finie de prorogation des ondes électromagnétiques, et pour nous trouver dans des conditions aussi analogues que possible à celles que nous aurions obtenues en opérant sur une simple plaque de gutta. Nous n'avons obtenu aucune variation de la décharge en faisant varier le temps de charge depuis 15 secondes jusqu'à une minute, et ensuite depuis quinze secondes jusqu'à une seconde. Ainsi, l'isolant avait acquis sa charge limite à moins de 1/100 près, après un temps de charge certainement inférieur à une seconde.

Supposons dès lors que l'intensité puisse se représenter par une formule telle que

$$i = \mathrm{M}d = \mathrm{M}\left[\mathrm{D} + \sum_{1}^{n} \mathrm{A}_k e^{-\alpha_k t}\right].$$

Si on charge le câble pendant un temps τ, la charge qu'il prendra sera

$$\int_0^\tau i\,dt = \mathrm{M}\left[\mathrm{D}\tau + \sum_{1}^{n} \frac{\mathrm{A}_k}{\alpha_k}\left(1 - e^{-\alpha_k \tau}\right)\right].$$

Le terme $\mathrm{M}\,\mathrm{D}\tau$ représente la charge dissipée à chaque instant par voie de conduction ; il n'interviendra donc pas dans la décharge, et la décharge observée sera

$$\mathrm{Q} = \mathrm{M}\sum_{1}^{n} \frac{\mathrm{A}_k}{\alpha_k}\left(1 - e^{-\alpha_k \tau}\right).$$

Par conséquent, si nous appelons ε le rapport de la capacité mesurée après une seconde de charge à la capacité totale réelle du câble qui correspond à une charge pendant un temps infini, nous aurons

$$\varepsilon = \frac{\sum_{1}^{n} \frac{\mathrm{A}_k}{\alpha_k}\left(1 - e^{-\alpha_k}\right)}{\sum_{1}^{\tau} \frac{\mathrm{A}_k}{\alpha_k}}.$$

L'expérience nous a donné

$$\varepsilon > \frac{99}{100}.$$

Cette formule va nous montrer combien nous connaissons mal la marche de l'électrification pendant les premières secondes.

Si nous prenons d'abord la formule

$$\delta = 224\, e^{6 \times 10^{-4}\, t} + 270,$$

qui représente bien les phénomènes à partir de la dixième minute, il vient

$$\varepsilon = \alpha_k = \frac{6}{10\,000},$$

ce qui est beaucoup trop faible.

Si nous adjoignons à cette formule le terme

$$74{,}5\, e^{-0{,}010\,16\, t},$$

qui rend la formule valable depuis la seconde minute, il viendra

$$\varepsilon = \frac{8{,}6}{10\,000},$$

ce qui est encore beaucoup trop faible.

Si, d'après les hypothèses que nous avons émises, nous ajoutons un terme tel que

$$700\, e^{0{,}05\, t}$$

environ, la formule devant dès lors représenter les phénomènes depuis la première demi-minute, nous aurons

$$\varepsilon = \frac{28}{10\,000},$$

ce qui est encore beaucoup trop faible.

Il est bien facile de voir que, pour obtenir la valeur $\geqq \frac{99}{100}$ de ε donnée par l'expérience, il faudrait un terme de la forme

$$\mathrm{M}e^{-mt},$$

dans lequel on aurait environ

$$m = 5$$
$$\mathrm{M} = 600\,000\,000.$$

Ces chiffres n'ont pas d'importance par eux-mêmes, mais sont intéressants en ce qu'ils montrent jusqu'à quel point des formules qui rendent compte de l'électrification depuis la première demi-minute laissent dans l'obscurité les phénomènes qui se passent jusque-là.

V. — En résumé, il nous paraît nécessaire, avant de tenter une théorie sérieuse :

D'asseoir nos connaissances sur l'électrification en comparant la formule à deux ou trois exponentielles et une constante à d'autres séries d'expériences faites en écartant avec le plus grand soin les causes d'erreur très nombreuses qui interviennent dans ces essais délicats;

De les compléter en déterminant avec le même soin la formule de contexture analogue qui doit représenter la décharge;

De chercher, au moyen d'un galvanomètre très apériodique, la formule qui représente la marche des phénomènes pendant les premières secondes, et de rattacher cette formule à celle qui représente l'électrification dans la suite.

VI. — Mais nous pouvons considérer comme établi jusqu'à nouvel ordre :

Que tous les corps qui entrent dans la composition de la gutta ont une résistance d'isolement finie;

Que la constitution simple et séduisante imaginée par M. Hess pour représenter le diélectrique est insuffisante pour rendre compte des phénomènes.

Et que l'électrification de la gutta peut se représenter par une formule simple qui, si elle se confirme d'une façon tout à fait générale, pourra, lorsqu'on aura établi une relation approchée entre la valeur de ses paramètres et les propriétés de la gutta employée, rendre des services pour préciser les clauses des cahiers des charges et les essais de réception des câbles à l'usine.

E. Brylinski.

CONTRIBUTION A LA THÉORIE DE L'ÉLECTROLYSE PAR COURANTS ALTERNATIFS [1]

Cherchons, en laissant toujours de côté le cas $q = 2q_0$, quelle forme affectera la courbe représentant la force électromotrice de polarisation lorsqu'on introduira le voltamètre dans le circuit à un instant quelconque de l'intervalle $T - \tau$ à τ.

Puisque, d'après notre hypothèse, le point $\frac{T}{2}$ est compris dans cet intervalle, nous pouvons conclure de suite que si à cet instant on opérait la mise en circuit du voltamètre, on aurait à la fin de la première alternance une polarisation inférieure au maximum et qui serait détruite seulement au temps $\frac{3T}{2}$. Les conditions initiales se reproduiraient alors et on aurait une forme constante déplacée de la moitié d'une alternance par rapport à l'intensité et couvrant alternativement les deux parties du plan séparées par l'axe des temps. Cette courbe serait de plus symétrique par rapport à ses maxima.

Si maintenant le voltamètre était, toujours dans l'intervalle $T - \tau$ à τ, mis en circuit avant ou après le point $\frac{T}{2}$, on aurait pour la courbe des valeurs de la polarisation à chaque instant une courbe différente de celle du cas précédent et se rapprochant plus ou moins de la courbe c', d', e'... ou de la courbe c, d, c.., suivant les cas.

Le régime de cette courbe sera définitivement établi dès le commencement. Nous pouvons donc affirmer que dans le second cas, c'est-à-dire lorsqu'on a

$$\frac{T}{2} < \tau < T,$$

et quel que soit l'instant de l'introduction du voltamètre dans le circuit, la courbe de la force électromotrice de polarisation en fonction du temps affecte une forme périodique qui, prolongée dans certains cas, dans la première phase, a son zéro compris dans l'intervalle $T - \tau$ à τ.

La courbe de polarisation peut aussi affecter une forme périodique égale dans les deux parties séparées par l'axe des temps, et ceci lorsque le zéro est en $\frac{T}{2}$, ou encore avoir des valeurs différentes dans les deux sens et ayant seulement d'un seul côté le maximum de polarisation compatible avec l'électrolyte employé.

Si, au contraire, on a

$$\tau = \frac{T}{2},$$

[1] *La Lumière Electrique*, du 18 mars 1893.

c'est-à-dire

$$q = 2q_0,$$

la courbe que nous avons indiquée dans le cas où l'introduction du voltamètre dans le circuit se fait au commencement de l'alternance représente encore la forme de la polarisation quand on introduit le voltamètre à un instant quelconque de la phase.

En effet, si le voltamètre est inséré dans le circuit à un instant de l'intervalle de o à $\frac{T}{2}$, à la fin de la première alternance, il possèdera une polarisation maxima, mais négative, et le développement visible des produits de l'électrolyse s'étant manifesté dans diverses mesures, on voit que la courbe de régime stable, avec maxima égaux dans les deux sens, commencera à la première alternance, et les zéros de cette courbe seront au milieu des alternances de l'intensité.

Si maintenant on suppose que le voltamètre est introduit dans le circuit à courant alternatif en un instant quelconque de l'intervalle $\frac{T}{2}$ à T (les limites exceptées), pendant la première alternance, le voltamètre acquerra une polarisation négative inférieure au maximum et qui sera détruite en un temps égal au commencement de la seconde alternance. A la fin de celle-ci, le voltamètre possèdera le maximum de polarisation positive, après avoir donné lieu pendant un temps différant suivant les cas, à la production d'une électrolyse visible. Au commencement de la troisième alternance, s'établira enfin d'une manière définitive la courbe uniforme représentative de la polarisation avec les maxima absolus

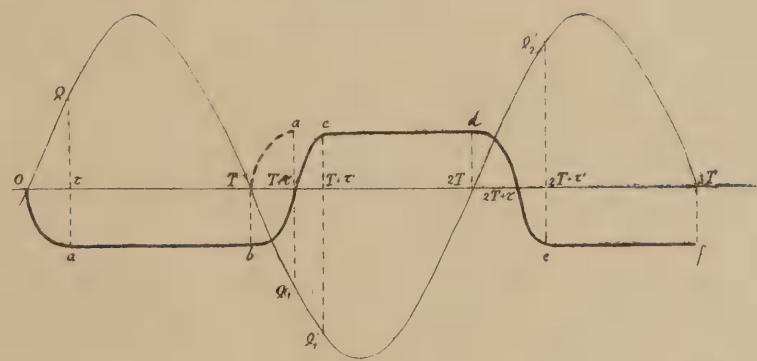


Fig. 4.

dont est susceptible l'électrolyte, maxima correspondant aux zéros de la courbe représentant l'intensité, et des zéros au milieu de chaque alternance de l'intensité.

Cette courbe uniforme, qui s'établit toujours ainsi dès la deuxième alternance de l'intensité lorsque $q = 2q_0$, peut être considérée, quant à la forme (c'est-à-dire en exceptant les valeurs maxima) comme le type de la courbe du régime de la polarisation dans un voltamètre parcouru par un courant alternatif toutes les fois que q n'est pas supérieur à $2q_0$.

Nous avons dit déjà, à la fin du paragraphe précédent, comment dans le champ expérimental, en tenant compte de la durée de la mise en circuit du voltamètre, particulièrement dans le cas d'un grand nombre d'alternances et si on considère la courbe de polarisation après un certain temps, les courbes à pulsations différentes doivent être considérées comme courbes instables; il ne faut pas attribuer trop d'importance à l'alternance que l'on compte pour la première.

Dans le cas moins général des applications, nous devrons nous rappeler que le régime stable de polarisation qui s'établit d'autant plus vite que q est plus voisin de $2q_0$, est représenté par une courbe décalée de $\frac{T}{2}$ sur celle de l'intensité du courant, ayant ses maxima égaux dans les deux sens et correspondant aux zéros de l'intensité. La valeur de ces maxima sera égale à celle que, dans l'électrolyte donné, produit *la moitié* de la quantité d'électricité qui traverse le voltamètre pendant une alternance du courant; de sorte que pour une alternance quelconque du courant, la première moitié de la quantité d'électricité qui traverse le voltamètre est employée à le dé-

polariser et l'autre moitié à lui communiquer une polarisation égale en sens contraire.

Les traces des produits électrolytiques qui, d'après les raisonnements précédents, devraient être rendus visibles pendant la première alternance du courant, ont été obtenus dans mes études expérimentales en électrolysant de l'eau acidulée par un courant direct inversé alternativement à l'aide d'un commutateur Gruel.

Il est à peine utile de faire remarquer que les quantités de produits gazeux obtenus étaient d'autant plus grands que le nombre d'alternances du courant était plus petit pour une même valeur du maximum de l'intensité.

11. Arrivons au cas où :

$$q > 2\,q_0,$$

ou encore

$$\tau < \frac{T}{2},$$

le seul, nous l'avons dit, où l'électrolyse s'établit et persiste indéfiniment.

Supposons d'abord que le voltamètre soit introduit dans le circuit à courants alternatifs, au moment où l'intensité est nulle. La courbe représentant les variations de la force électromotrice de polarisation (fig. 4) arrive rapidement au maximum et à partir de l'instant τ elle se continuera parallèlement à l'axe des temps jusqu'en *b*. Arrivée au point T, au moment ou l'intensité change de signe le voltamètre se dépolarisera, de sorte qu'à l'instant $T+\tau$, la courbe repassera par zéro. Puis plus rapidement qu'au début, le voltamètre prendra une polarisation positive cette fois; enfin, au temps $T+\tau'$ cette polarisation atteignant sa valeur maxima, la courbe continuera en *c d* parallèlement à l'axe des temps, jusqu'au temps 2 T. En ce point, se reproduiront des conditions analogues à celles qui se reproduisent au temps T, et par suite le régime de polarisation sera établi définitivement.

Tandis que l'instant τ est déterminé comme nous l'avons dit par

$$\int_0^{\tau} i\,dt = s\,q_0,$$

l'instant τ' sera défini par la condition que la quantité d'électricité

$$\int_T^{T+\tau'} i\,dt = \int_0^{\tau'} i\,dt = 2s\,q_0,$$

ce qui montre que

$$\tau' < 2\,\tau,$$

puisque dans l'intervalle de $T+\tau$ à $T+\tau'$, l'intensité du courant passe par des valeurs plus grandes.

La quantité d'électricité qui, pendant la première alternance du courant, prend une part active à la décomposition visible de l'électrolyte est représenté par l'aire τ Q T, c'est-à-dire par

$$\int_{\tau}^{T} i\,dt.$$

Celle qui de même concourt à l'électrolyse pendant la seconde alternance est représentée par l'aire $T+\tau'$, Q, 2 T, et mesurée par

$$\int_{T+\tau'}^{2T} i\,dt = \int_{\tau'}^{T} i\,dt.$$

Cette quantité est inférieure à celle agissant dans la première phase et la différence $s\,q_0$ représente précisément la quantité d'électricité employée à la dépolarisation du voltamètre.

Supposons maintenant, comme nous l'avons fait pour les autres cas, que le voltamètre est mis en circuit à un instant quelconque de l'intervalle de o à $T-\tau$. D'après ce que nous avons vu, il résulte que dans chacun des cas, en y comprenant même la limite supérieure de l'intervalle, et à partir du temps T, s'établira un régime de polarisation représenté par la courbe *b, c, d, e* de la figure 3, page 459. Dans la première phase on pourra avoir un développement limité de produits électrolytiques et pouvant même manquer complètement.

Si l'instant de la mise en circuit du voltamètre appartient à l'intervalle de $T-\tau$ à T (en excluant naturellement la limite supérieure), pendant la première alternance le voltamètre ne pourra acquérir qu'une petite polarisation qui sera promptement détruite au commencement de la deuxième alternance. Pendant cette seconde alternance, le voltamètre acquièrera une polarisation maxima positive qui restera la même pendant un certain intervalle correspondant à une décomposition visible de l'électrolyte.

La quantité d'électricité qui accomplit un travail chimique est comprise entre celles indiquées par les aires τ Q T et $T+\tau'$, Q', 2 T. Au commencement de la troisième alternance, la

polarisation du voltamètre prend sa forme de régime, qui est toujours représentée par la courbe b, c, d, e pour une alternance complète du courant alternatif.

Nous pouvons donc dire que le voltamètre étant mis en circuit à un instant quelconque de l'alternance du courant, si la condition

$$\tau < \frac{T}{2}$$

est vérifiée, le régime de polarisation s'établira tout au plus à partir du commencement de la troisième alternance. On peut donc dire au point de vue expérimental, c'est-à-dire en tenant compte de la durée de la mise en circuit, que le régime de la polarisation s'établira rapidement.

Les alternances de la courbe de polarisation sont pendant l'électrolyse décalée par rapport à l'intensité du courant d'une quantité d'autant plus petite que la quantité d'électricité envoyée dans le voltamètre à chaque alternance du courant est plus grande. Ce décalage est maximum et égal à $\frac{T}{2}$ lorsque les produits de l'électrolyse sont moins visibles, c'est-à-dire lorsque $q = 2 q_0$.

12. Il est bon de rappeler que pour éviter une complication inutile dans l'exposition, nous avons admis que l'intensité du circuit seule variait en supposant de plus invariable la surface active des électrodes et en considérant toujours le même électrolyte.

Les variations de τ peuvent s'obtenir sans modifier la résistance du voltamètre en faisant varier convenablement s ou la nature de l'électrolyte.

13. M. Mengarini, dans une série d'expériences intéressantes, avait déjà observé que dans l'électrolyse à courants alternatifs, les courbes de la polarisation et de l'intensité ne sont pas les mêmes zéros [1].

M. Mengarini a même réussi à mesurer la valeur de ce décalage et l'a vu croître et arriver près de $\frac{T}{2}$ lorsque la quantité des produits de l'électrolyse est très faible.

La figure 2 du mémoire de Mengarini présente des courbes analogues à celles que nous avons données pour la forme du régime de la polarisation dans le cas où l'électrolyse a lieu; mais, comme le fait remarquer aussi M. Favero [1], l'auteur les décrit [2] sans donner la raison de ce décalage. La démonstration faite [3] dans le seul cas où le décalage est d'un quart de période s'applique au cas ou l'électrolyse avec produits apparents n'est pas possible; en un mot, outre qu'elle ne comprend pas le cas d'un décalage moindre, il resterait implicitement admis que les produits de l'électrolyse peuvent se dégager quand la quantité d'électricité est supérieure seulement à q_0, ce qui n'est pas rigoureux, d'après ce qu'on a vu.

Ceci justifie donc l'étude que j'ai entreprise sur la façon dont se comporte la polarisation du voltamètre provenant des dépôts électrolytiques changeant de grandeur et de siège.

La méthode que j'ai suivie a été forcément une investigation minutieuse au travers des cas particuliers, puisque je manquais d'une formule pour exprimer les valeurs de la polarisation d'un voltamètre, même après avoir atteint le maximum, c'est-à-dire par un temps supérieur à τ. Possédant une telle formule et suivant la méthode de Favero, c'est-à-dire appliquant la loi d'Ohm, à part les difficultés d'intégration, les recherches auraient été simples et complètes.

III. — *Forme de la courbe de régime de la force électromotrice dans un voltamètre parcouru par des courants alternatifs dans le général du phénomène.*

15. Désignons par I l'intensité du courant déduite ainsi de la loi d'Ohm lorsqu'on tient compte de l'effet de la force électromotrice de polarisation du voltamètre sur l'intensité i du courant qui existerait si une résistance égale à celle du voltamètre était interposée dans le circuit de la dynamo.

Si dans tout ce qui a été dit dans le chapitre précédent on substitue I à i, les conclusions resteront les mêmes quant à la forme et se rapporteront au cas général du phénomène, celui où la résistance du circuit étant faible, les effets de la polarisation du voltamètre sur l'intensité du courant ne sont plus négligeables.

Pour rendre cette conception plus claire, re-

(1) MENGARINI. Mémoire cité, pages 572 à 580.

(1) FAVERO. Mémoire cité. Introduction, page III.

(2) MENGARINI, Mémoire cité, page 562 et suivantes.

(3) MENGARINI, Mémoire cité, page 561.

portons-nous au cas où l'électrolyse ne subsiste pas comme phénomène définitif, et pour pouvoir tirer parti du calcul de M. Favero, nous supposerons que la quantité d'électricité traversant le voltamètre est suffisamment petite pour que, même au voisinage du maximum, la quantité

$$\frac{p^2}{4,48}$$

soit négligeable.

Dans l'hypothèse que la machine fournit un courant rigoureusement sinusoïdal, on a :

$$i = \frac{A}{R} \sin \frac{\pi t}{T}.$$

En déterminant la polarisation par la formule de Kohlrausch, M. Favero a déduit de la loi d'Ohm [1] :

$$I = \frac{A}{R} \cos \frac{\pi t_0}{T} \left[\sin \frac{\pi (t + t_0)}{T} - e^{-\frac{hT}{R}} \sin \frac{\pi t_0}{T} \right],$$

en posant

$$\operatorname{tang} \frac{\pi t_0}{T} = \frac{hT}{\pi R}.$$

D'autre part, l'expression de la force électromotrice de polarisation du voltamètre en considérant le courant I qui traverse réellement le circuit est représentée par la même formule de Kohlrausch

$$p = -h \int_0^t I \, dt.$$

Effectuant la quadrature, on obtient

$$p = A \sin \frac{\pi t_0}{T} \left[\cos \frac{\pi (t_0 + t)}{T} - e^{-\frac{ht}{T}} \cos \frac{\pi t_0}{T} \right],$$

expression identique à celle obtenue d'une autre façon par M. Favero.

Cette formule montre que, même en tenant compte des variations subies par l'intensité i du courant par suite de la polarisation du voltamètre, les rapports entre l'intensité vraie I et la forme de la courbe de polarisation qui s'en déduit tant que l'électrolyse n'a pas lieu, sont définis par la formule de polarisation, c'est-à-dire sont encore les mêmes que ceux obtenus en ne tenant aucun compte des effets de la polarisation sur l'intensité du courant.

Nous pouvons donc affirmer que la courbe représentant la polarisation qui s'établit après un certain nombre d'alternances du courant, courbe décalée de $\frac{T}{2}$ par rapport à l'intensité du courant, et affectant une forme pulsatoire avec maxima égaux dans les deux sens, est encore vraie dans le cas général, pourvu qu'il n'y ait pas dégagement visible des éléments de l'électrolyte.

Ainsi, même pour une faible résistance interposée dans le circuit de la dynamo, la courbe de polarisation du voltamètre, lorsque

$$q = \int_0^T I \, dt > 2 q_0,$$

est décalée par rapport aux alternances de I d'une quantité d'autant plus faible que la densité du courant sur les électrodes est plus grande et reste parallèle à l'axe des temps pendant l'intervalle τ' à T, où τ' est déterminé par

$$2 s q_0 = \int_0^{\tau'} I \, dt.$$

En d'autres termes, la courbe *b*, *c*, *d*, *e* des figures 1 et 4 représente en général les courbes de polarisation quand on suppose que la courbe représentant l'intensité est celle qui parcourt réellement le circuit.

IV. — *Détermination théorique de la loi de l'électrolyse à courants alternatifs.*

16. Une fois adopté le principe consistant à considérer l'électrolyse à courants alternatifs comme une succession d'autant d'électrolyses à courant direct qu'il y a d'alternances du courant pendant l'intervalle de temps considéré, pour calculer la quantité de produits électrolytiques qu'on peut obtenir pendant une seule alternance, nous devons nous servir de la loi bien connue de Faraday.

Les produits obtenus pendant l'état variable de la polarisation se recomposent avec ceux qui dans les mêmes circonstances de polarisation, sont dégagés au commencement dans l'alternance suivante; il en résulte que nous n'avons à considérer que la quantité de ces produits qui sont mis en liberté lorsque la force électromotrice de polarisation devient fixe et égale au maximum.

Supposons tout d'abord que l'intensité qui parcourt le circuit est représenté par (cas idéal) :

$$A \sin \frac{\pi t}{T};$$

[1] Favero. — Mém. cit., p. 113 et 114.

Supposons de plus que le régime stable de la polarisation soit déjà obtenu. L'instant τ' au bout duquel la polarisation atteint son maximum est, d'après ce qu'on a vu, déterminé par :

$$A \int_0^{\tau'} \sin \frac{\pi t}{T} \, dt = 2 s q_0,$$

d'où, en effectuant la quadrature :

$$\tau' = \frac{T}{\pi} \arccos \left(1 - \frac{2 s \pi q_0}{A T}\right).$$

D'autre part, la quantité d'électricité à laquelle est proportionnel le développement électrolytique obtenu est :

$$Q_e = \int_{\tau'}^{T} I \, dt = A \int_{\tau'}^{T} \sin \frac{\pi t}{T} \, dt$$
$$= \frac{2 A T}{\pi} \left(1 - \frac{s \pi q_0}{A T}\right).$$

En posant

$$\frac{1}{T} = n,$$

la quantité d'électricité qui traverse le voltamètre pendant l'unité de temps avant le maximum de polarisation et donnant lieu à la production d'un développement électrolytique qu'on peut recueillir sera donc :

$$\frac{2 A}{\pi} \left(1 - \frac{s \pi q_0 n}{A}\right).$$

Finalement, si le phénomène dure Θ secondes et si k est l'équivalent électrochimique, la quantité de produits mis en liberté dans le voltamètre sera représentée par :

$$Q = \frac{2 A \Theta k}{\pi} \left(1 - \frac{\pi s q_0 n}{A}\right).$$

17. On obtiendra un résultat analogue si, au lieu de prendre le cas simple du courant sinusoïdal, on suppose que l'intensité du courant est une fonction périodique quelconque du temps.

Soit en effet

$$I = \sum_1^h {}_m A_m \sin \frac{m \pi t}{T},$$

ou h est un nombre entier qui, infini théoriquement, peut, au point de vue expérimental, être regardé non seulement comme fini, mais encore comme assez faible, et A_m des constantes bien choisies.

Supposons le régime de polarisation établi, l'instant τ' au bout duquel le voltamètre acquiert le maximum de polarisation est déterminé par

$$\sum_1^h {}_m A \int_0^{\tau'} \sin \frac{m \pi t}{T} \, dt = 2 s q_0,$$

d'où l'on tire, en effectuant les quadratures,

$$\frac{T}{\pi} \sum_1^h {}_m \frac{A_m}{m} \left(1 - \cos \frac{m \pi \tau'}{T}\right) = 2 s q_0.$$

La quantité d'électricité qui concourt à la décomposition de l'électrolyte dont les produits peuvent être recueillis est donnée pour une alternance par

$$Q_e = \sum_1^k {}_m A_m \int_0^T \sin \frac{m \pi t}{T} \, dt$$
$$= \frac{T}{\pi} \sum_1^h {}_m \frac{A_m}{m} \left(\cos \frac{m \pi \tau'}{T} - \cos m \pi\right).$$

Mais, d'après la relation déterminant τ', on tire

$$\frac{T}{\pi} \sum_1^h {}_m \frac{A_m}{m} \cos \frac{m \pi \tau'}{T} = \frac{T}{\pi} \sum_1^h {}_m \frac{A_m}{m} - 2 s q_0.$$

On en déduit donc

$$Q_e = \frac{T}{\pi} \sum_1^h {}_m \frac{A_m}{m} (1 - \cos m \pi) - 2 s q_0,$$

c'est-à-dire pendant chaque seconde

$$\frac{1}{\pi} \sum_1^h {}_m \frac{A_m}{m} (1 - \cos m \pi) - 2 s q_0 n.$$

Si le phénomène de l'électrolyse dure un temps Θ et si k indique toujours l'équivalent électrochimique, la quantité de produits qu'on peut recueillir sera donnée par

$$Q' = \frac{\Theta k}{\pi} \left[\sum_1^h {}_m \frac{A_m}{m} (1 - \cos m \pi) - 2 \pi s q_0 n\right],$$

expression de la même forme que Q.

Si l'intensité, tout en étant une fonction périodique du temps, était telle que dans chaque alternance les deux parties séparées par le point maximum fussent symétriques par rapport à l'ordonnée de ce point, ce qui aurait lieu, comme le montrent les recherches faites sur la forme de l'intensité du courant, si les effets de la force électromotrice de polarisation du voltamètre sur l'intensité étaient négligeables, l'expression

analytique ne contiendrait pour m que des valeurs impaires, et l'on aurait alors :

$$Q' = \frac{2\Theta k}{\pi}\left(\sum_{1}^{h}{}_{2m+1}\frac{\Lambda_{2m+1}}{2m+1} - \pi s q_0 n\right).$$

18. Donnons maintenant les résultats contenus dans la formule générale que nous venons d'obtenir, et qui peut s'écrire sous la forme :

$$Q' = \frac{\Theta k}{\pi}\sum_{1}^{h}{}_{m}\frac{\Lambda_m}{m}(1-\cos m\pi)\left[1-\frac{2\pi s q_0 n}{\sum_{1}^{h}{}_{m}\frac{\Lambda_m}{m}(1-\cos m\pi)}\right].$$

Posons, pour simplifier :

$$\sum_{1}^{h}{}_{m}\frac{\Lambda_m}{m}(1-\cos m\pi) = \varphi(\Lambda).$$

en entendant par là que $\varphi(\Lambda)$ est une fonction des maxima des termes de l'intensité.

Nous aurons alors :

$$\sum_{1}^{h}{}_{m}\frac{\Lambda_m}{s}\frac{(1-\cos m\pi)}{m} = \varphi\left(\frac{\Lambda}{s}\right) = \varphi(\delta),$$

où δ représente le maximum de la densité du courant des électrodes.

Nous supposerons en outre que le courant parcourant le voltamètre est fourni par un transformateur alimenté par un alternateur quelconque, de façon à admettre que le nombre d'alternances et les maxima des termes de l'intensité sont des variables indépendantes.

Ceci posé, nous remarquerons tout d'abord qu'une valeur négative de Q' n'ayant aucune signification, les conditions nécessaires et suffisantes pour que l'électrolyse puisse avoir lieu sont contenues dans l'inégalité :

$$1 - \frac{2\pi s q_0 n}{\varphi(\Lambda)} > 0,$$

et le phénomène cessera dès qu'on aura :

$$1 - \frac{2\pi s q_0 n}{\varphi(\Lambda)} = 0.$$

Nous pouvons donc conclure de là :

« I. A chaque valeur de n correspond une valeur de la densité maxima du courant sur les électrodes, déterminée par

$$1 - \frac{2\pi q_0 n}{\varphi(\delta)} = 0,$$

pour laquelle et pour toute valeur inférieure l'électrolyse est impossible.

« II. Pour chaque valeur δ' du maximum de la densité, supérieure à la limite précédente correspondant a une valeur fixe de n, le phénomène de l'électrolyse se produit encore pour une fréquence plus grande du courant, mais il existe une limite maxima n_0 déterminée par

$$1 - \frac{2\pi q_0 n_0}{\varphi(\delta')} = 0$$

à partir de laquelle l'électrolyse cesse et demeure impossible pour toute valeur plus grande que n_0.

« III. Ces limites dépendent de q_0, et diffèrent également avec la nature de l'électrolyte.

« IV. Nous avons dit avec M. Bartoli, que la nature des électrodes n'avait aucune influence sur la valeur de la force électromotrice de polarisation du voltamètre, pourvu que ces électrodes ne fussent attaquables ni par l'électrolyte, ni par ses éléments; d'après la conclusion précédente, on en infère que les limites en question sont également indépendantes de la nature des électrodes.

« V. Si l'on fait varier les surfaces des deux électrodes égales ainsi que la fréquence de façon que le produit sn reste constant, la quantité de produits obtenus par la décomposition de l'électrolyte restera constant.

« VI. Si l'on fait varier seulement les maxima des termes de l'intensité les variations résultantes des produits obtenus ne sont pas proportionnelles.

« VII. Si l'on fait varier proportionnellement les maxima des termes de l'intensité et la surface des électrodes ou la fréquence du courant, les variations correspondantes de la quantité d'électrolyte décomposé ne sont pas rigoureusement proportionnelles.

« VIII. Si l'on fait varier seulement la surface des électrodes ou la fréquence du courant, les produits obtenus varient en sens contraire.

« IX. Si le courant est redressé et a toutes ses alternances identiques, le régime stable de polarisation est (comme pour le courant continu) représenté par une droite parallèle à l'axe des temps et, dans ce cas, les produits obtenus sont proportionnels à la quantité d'électricité totale traversant le voltamètre; il en résulte que dans ce cas la quantité d'électrolyte décomposée est plus grande que celle mise en liberté par le courant alternatif.

« X. Si sur un même circuit, on dispose plusieurs voltamètres égaux à électrodes inattaquables, et contenant des électrolytes différents, la quantité de produits obtenus suit la loi de Faraday pour l'électrolyse ordinaire, puisque la quantité d'électricité dépensée dans les polarisations et les dépolarisations successives est différente ».

19. Dans les conclusions du mémoire de M. Mengarini se trouvent énoncés les importants résultats expérimentaux relatifs à l'électrolyse, ainsi que quelques autres se rapportant à des phénomènes secondaires qu'il a également étudiés.

Des premiers, M. Mengarini avait essayé de donner une théorie complète du phénomène de l'électrolyse par courants alternatifs, mais ses recherches ont été limitées aux quelques principes que nous avons vus et contenant uniquement les conditions de possibilité du phénomène.

Toutes ces lois expérimentales rentrent dans celles énoncées plus haut, en exceptant toutefois celle relative à l'influence de la nature des électrodes, dont l'importance n'est du reste pas essentielle.

M. Mengarini n'a pas étudié, ou du moins n'a donné aucun résultat expérimental relatif au cas de plusieurs voltamètres égaux disposés sur un même circuit et renfermant des électrolytes différents et auxquels se rapporte le dernier principe énoncé plus haut.

V. — *Enoncé complet des lois de l'électrolyse à courants alternatifs.*

20. La formule que nous avons déterminée :

$$Q' = \frac{\Theta k}{\pi}\left[\sum_{1}^{h}{}_{m}\frac{A_m}{m}(1-\cos m\pi) - 2\pi s q_0 n\right]$$

et qui exprime la quantité de produits qui est mise en liberté pendant le temps Θ sur l'action du courant

$$I = \sum_{h}^{1}{}_{m}\frac{A_m}{m}\sin\frac{m\pi t}{T}$$

peut être considérée maintenant comme l'interprétation pure et simple des résultats expérimentaux obtenus, et nous pouvons nous proposer une forme plus simple.

La quantité d'électricité qui traverse le voltamètre pendant une seule phase de courant est donnée par :

$$\int_0^T I\,dt = \frac{T}{\pi}\sum_{h}^{1}{}_{m}\frac{A_m}{m}(1-\cos m\pi).$$

Substituant dans l'expression de Q', nous aurons

$$Q' = \Theta n k (Q_e - 2 s q_0),$$

et comme sq_0 représente la quantité d'électricité qui doit traverser le voltamètre pour lui permettre d'atteindre le maximum de polarisation, si nous désignons cette quantité par Q_0, la formule deviendra :

$$Q' = \Theta n k (Q_e - 2 Q_0),$$

où Θn représente le nombre d'alternances contenues dans l'intervalle considéré.

Cette nouvelle forme montre que :

La condition nécessaire et suffisante pour que le phénomène de l'électrolyse à courants alternatifs soit possible est que la quantité d'électricité qui traverse le voltamètre pendant une seule alternance du courant alternatif soit supérieure au double de celle qui est nécessaire pour communiquer au voltamètre le maximum de polarisation. La production électrolytique cesse dès que ces deux quantités sont égales, et la quantité d'électrolyte décomposée est proportionnelle à la différence de ces mêmes quantités.

CONCLUSIONS

Dans ce travail, je me suis proposé d'établir avec toute la rigueur nécessaire la théorie complète du phénomène de l'électrolyse à courants alternatifs, en prenant comme point de départ le principe dû à M. Mengarini, pour lequel le phénomène doit être considéré comme une succession d'autant d'électrolyses à courant direct qu'il y a d'alternances du courant.

J'ai déterminé ce que j'ai appelé la forme de régime de la force électromotrice de polarisation qui se produit dans le voltamètre, tant dans le cas où il n'y a pas de développements électrolytiques que dans celui où la décomposition se produit plus ou moins abondamment. Dans ce dernier cas, le régime s'établit au bout d'un temps très court après la mise en circuit; dans l'autre, au contraire, il s'établit au bout d'un temps

d'autant plus long qu'on est plus éloigné des conditions de la décomposition.

J'ai déterminé l'expression théorique de la quantité de produits électrolytiques qui sont mis en liberté pendant un temps quelconque. Cette formule contient et explique tous les résultats expérimentaux obtenus par M. Mengarini.

Je rappellerai que j'ai supposé dans cette étude que le voltamètre avait des électrodes égales.

Enfin, j'ai donné un énoncé très simple contenant toutes les lois du phénomène.

Dr Riccardo Malagoli.

LES LAMPES A INCANDESCENCE [1]

Pour faciliter le remplacement des filaments, *MM. Stepney*, *Woodhouse* et *Rawson* fendent, après y avoir laissé rentrer l'air par la pointe A (fig. 1), la lampe en B, soit au diamant, soit par un

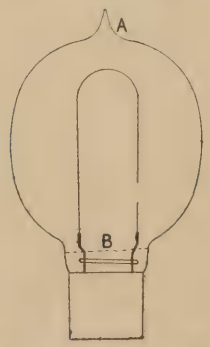


Fig. 1. — Remplacement des filaments Stepney.

fil au rouge; puis, une fois le filament facilement remplacé sur le culot ainsi enlevé, on resoude ce culot en B, on refait le vide dans la lampe, et on referme A. Ce procédé est plus commode que celui qui consiste à remplacer le filament sans détacher le culot de la lampe simplement ouverte en A, parce que la manipulation du culot détaché est beaucoup plus facile.

La lampe démontable de *M. Applegate*, représentée par les figures 2 et 3, a son globe ouvert à la base, sur le rebord b' de laquelle s'emmanche la douille à ressort a_3, cerclée par la douille b_2. Le culot amovible c, cimenté sur a', est maintenu par le serrage d'une rondelle c_2, filetée en b_2 puis cimentée sur c et les bornes c_3. La lampe a quatre bornes et deux filaments, de

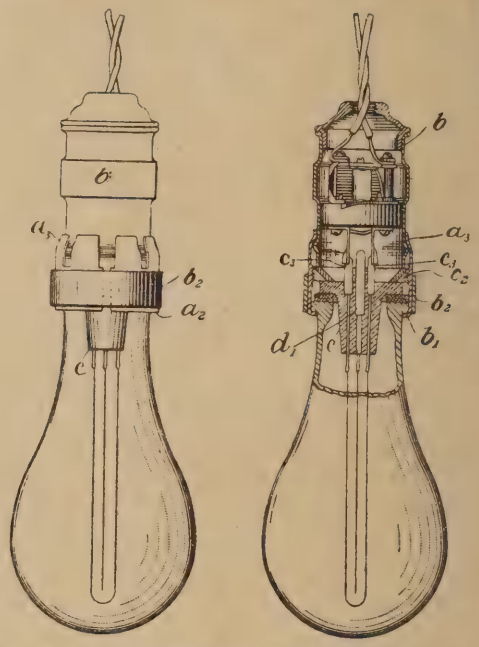


Fig. 2 et 3. — Lampe démontable Applegate (1892).

sorte qu'il suffit de tourner la monture b de 90° pour passer d'un filament à l'autre.

En figure 4, les attaches $c\,c$, en aluminium au lieu de platine, sont reliées aux bornes par

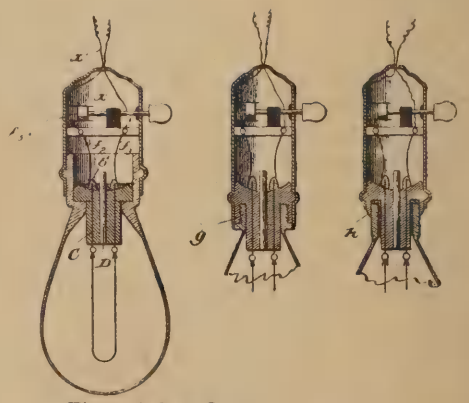


Fig. 4 à 6. — Lampes Applegate.

les contacts de leurs capsules métalliques b avec les ressorts $f_2 f_3$, aboutissant, l'un directement au fil x et l'autre au fil x', par l'intermédiaire d'un clef f_5. Le culot C, en lave, est, comme dans la lampe précédente, traversé par un tube en verre D, servant à faire le vide. Sa

[1] *La Lumière Electrique*, 4 février 1893, p. 212.

face concave supérieure est recouverte de verre servant à en sceller toutes les ouvertures, et il est soudé au pourtour de l'ampoule par un verre particulier fondant à une basse température.

En figure 5 le culot est vissé en *h* sur l'ampoule, tandis qu'en figure 6, il lui est fixé par une garniture en ciment *h*.

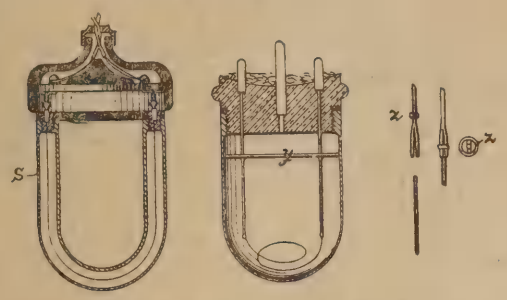


Fig. 7 à 9. — Lampes Applegate.

Les culots sont en lave, en obsidienne, ou en un mélange soit de talc et de lave comprimés, soit de chaux et de mica; comme ciment, *M. Applegate* emploie de l'oxyde de plomb, du silicate de soude, de la gomme laque, et, comme garniture *h* (fig. 6), de la laine de verre.

On peut, avec cette disposition, remplacer

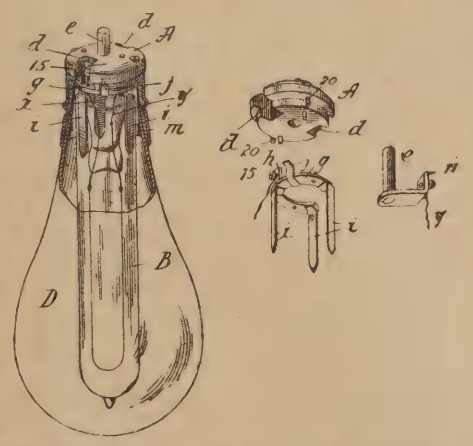


Fig. 10 à 13. — Lampe de sûreté Frei (1892).

facilement les filaments sans détériorer l'ampoule, et il paraît que les attaches d'aluminium restent parfaitement étanches dans les culots de lave.

La lampe figure 7 a, sans que l'on puisse en voir l'avantage général, son ampoule formée d'un tube en U. La lampe pour chemins de fer représentée par la figure 8 est, au contraire, très simple et rustique; elle est pourvue d'un réflecteur J.

Les filaments ont (fig. 9) leurs extrémités engagées dans les fourches des attaches serrées par des bagues *r*.

La lampe de sûreté *Frei*, représentée par les figures 10 à 13, a son globe B enveloppé d'une

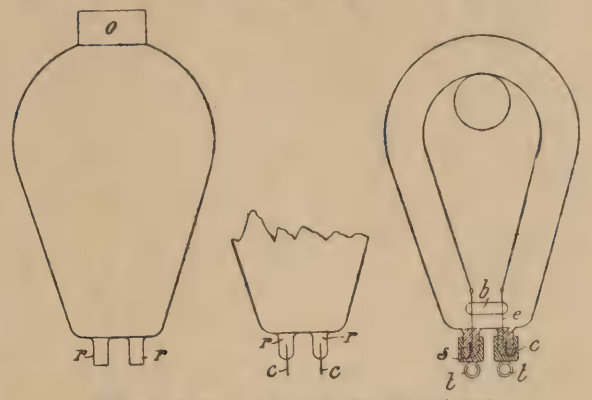


Fig. 14 à 16. — Lampes Von Mito (1892).

ampoule protectrice D à laquelle il est rattaché par les vis 20 du chapeau en porcelaine A (fig. 11). Ce chapeau A saisit le globe B par des ressorts *iii*, et porte en outre un tube *e* at-

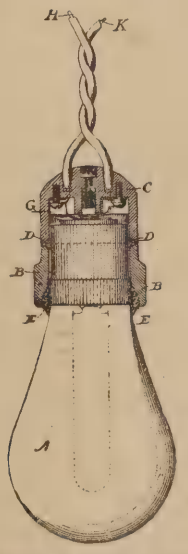


Fig. 17. — Monture Lean et Burleigh (1892).

taché par 12 à l'une de ses deux encoches diamétrales *d*. L'un des fils de la lampe J aboutit par 12 à ce tube, tandis que l'autre, *x*, aboutit, par 15 *g j* et la douille *m* de D, à la moulure de la lampe. En cas de rupture d'un filament, il suffit de dévisser les vis 20 20 pour remplacer la lampe B. pourvue ou non d'un couvercle de rechange A.

L'ampoule des lampes de *M. Von Mito* présente à l'origine la forme indiquée en figure 14, avec une grande ouverture *o* au sommet, et deux petits tubes *r r* au bas. On scelle dans ces tubes deux petites attaches de platine *c c*, de 13 millimètres de long, puis on remplit ces tubes, par *o*, d'un alliage de 95 o/o d'étain, 5 o/o de cuivre

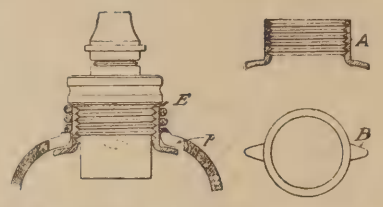


Fig. 18 à 20. — Abat-jour Drake (1892).

avec de 1 à 0,5 o/o de plomb ou de zinc, qui a presque le même coefficient de dilatation que le verre. On fond cet alliage, puis on y plonge les attaches *e e* du filament. Ces attaches, en cuivre ou en aluminium, sont maintenues à l'écartement par une barre de verre *b*, et font, après le

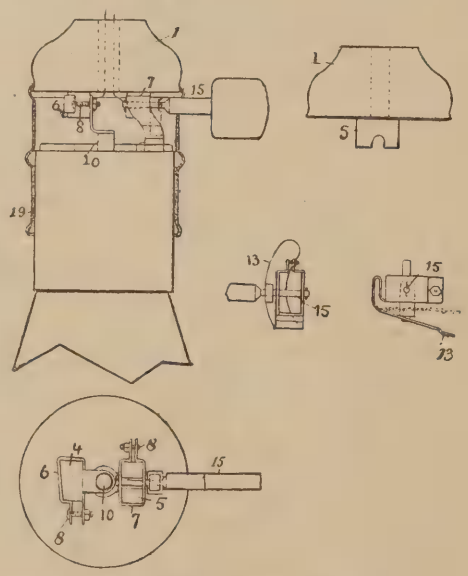


Fig. 21 à 25 — Monture Hutchinson (1892).

refroidissement de l'alliage, un excellent contact avec les platines *c c*. Quant à la fusion de l'alliage, on l'opère très facilement en chauffant les tubes *r r* à la lampe. C'est au moyen de ce même alliage que l'on scelle ensuite les tubes *r r* aux garnitures de cuivre *s s*, qui peuvent être, soit moulés dans une embase quelconque, soit attachés directement au circuit par des anneaux *t t*.

La monture étanche de la lampe *Lean et Burleigh* — société Bernstein, — représentée par la figure 17, se compose de deux pièces en vulcanite B et C, à garnitures de caoutchouc E et D. Cette dernière est serrée par le vissage de la vis F dans le culot de la lampe, qui s'opère en tournant C sur B, mais le serrage ne s'opère que

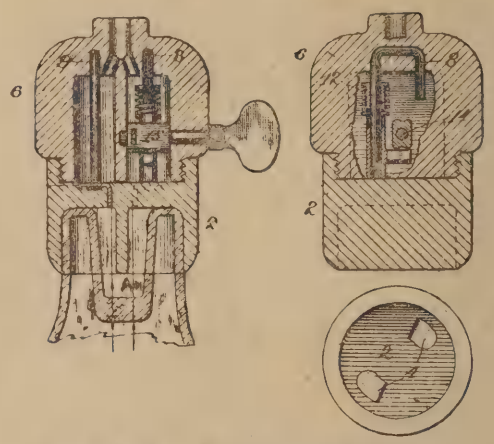


Fig. 26 à 28. — Monture Rockwell (1892).

par les derniers tours, de manière à ne pas user inutilement la garniture D par le frottement. Les fils H et K, qui aboutissent respectivement aux filaments par F et par G, sont garnis d'un ciment étanche à leur passage dans la pièce C.

Le moulage de l'abat-jour *Drake* est (fig. 18 à 20)

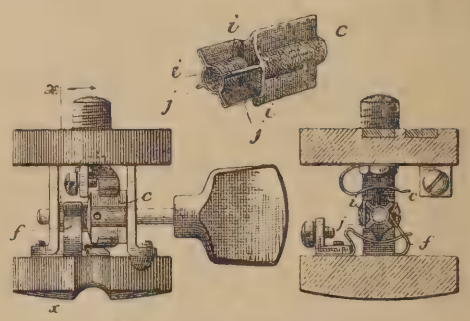


Fig. 29 à 31. — Monture Forster (1892).

des plus simples : il est maintenu par le ressort E, qui le presse sur les projections B du support A, passées au travers de ses encoches F.

La monture de la lampe *Hutchinson* se compose (fig. 21 à 25) d'une douille 19, serrée sur une attache en porcelaine 1, traversée par les fils 2 et 3 aboutissant à la lampe, l'un directement par 10, l'autre par un commutateur 7, dont la clef 16 manœuvre le ressort de contact 13. On voit en

figure 22 comment les connexions sont solidement attachées aux pendentifs 4 et 5 de la porcelaine 1 par le serrage des pinces 6 et 7 au moyen des vis 8.

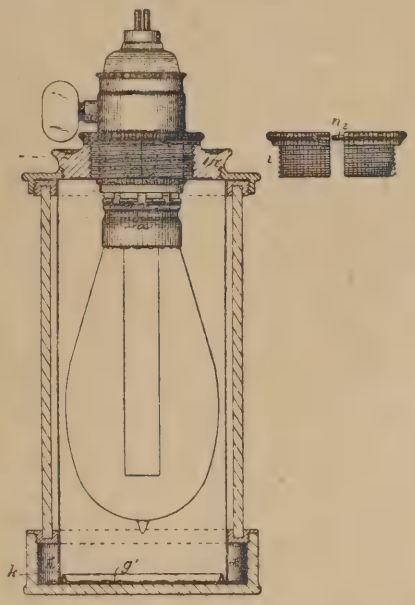


Fig. 31. — Lampe de mineur Keil (1892).

La monture de *Rockwell* (fig. 26 à 28), simple et très élégante, se compose de deux pièces de caoutchouc vulcanisé; l'une, 2, est scellée à la lampe avec ses contacts fixes 4, l'autre, 6, vissée

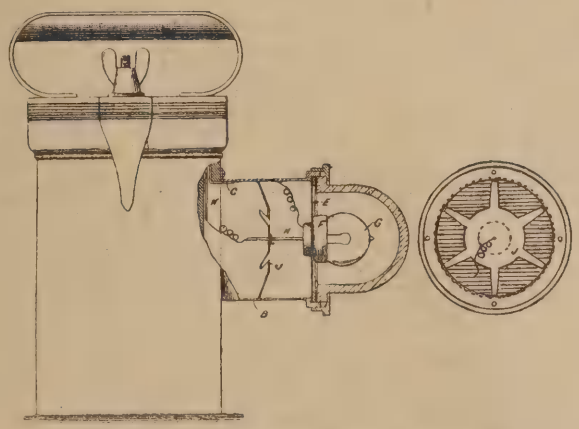


Fig. 33 à 34. — Lampe portative Coad (1892).

sur 2, porte les contacts mobiles 8 et 9. L'un de ces contacts, 8, est relié à sa touche 4 par un tube 10, rappelé par un ressort 12, et dont on ouvre ou ferme le contact au moyen d'une clef 14-15.

La monture des lampes *Foster* est (fig. 29 à 31) pourvue d'un coupe-circuit robuste et des plus simples; c'est une clef C à deux contacts, pourvue d'un prolongement tubulaire *i*, à quatre ailes *j*, disposées de manière que le ressort *f* maintienne toujours solidement la clef dans sa position acquise, comme une sorte de cliquet élastique.

La lampe de mineur *Keil* a (fig. 32 et 33) son globe protégé par une toile métallique doublée en *k* et complétée par un fond *g'*. La monture de la lampe est saisie par un filetage en deux pièces *ii*, assemblées en n_2, et vissées dans l'embrase *m*, vissée elle-même sur le haut de la lampe.

La lampe portative de *Coad* a (fig. 33 et 34) son globe suspendu par un culot en bois F à une membrane de caoutchouc E, et attaché par une tige H à une étoile métallique J, qui, normalement, ne touche pas le tube B. Le courant passe alors de ce tube C B à lampe, et revient par K; mais, dès que la lampe reçoit un choc assez fort pour amener l'étoile J au contact du tube, ce contact coupe du circuit la lampe qui s'éteint momentanément.

GUSTAVE RICHARD.

CHRONIQUE ET REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

Le calcul des transformateurs et des bobines de réaction, par J. Witcher [1].

S'il est nécessaire de s'excuser chaque fois que l'on aborde ce thème bien connu, on peut dire qu'il reste encore beaucoup à faire pour simplifier les calculs.

Généralement le calcul des transformateurs est identique à celui des bobines de réaction dans ses parties essentielles, et les formules fondamentales des uns s'appliquent également aux autres. Pour établir les premières notions mathématiques relatives à un transformateur, nous devons le considérer simplement comme une bobine de réaction s'opposant à l'établissement de tout courant. Ainsi, si nous comparons une

[1] *The Electrician*, 17 mars 1893.

bobine de réaction à une sorte d'écluse magnétique, un transformateur correspondrait à une écluse totalement fermée. Nous ne considérons que la bobine primaire, le circuit secondaire n'étant mis en cause que pour la place qu'il occupe.

Nous ferons remarquer qu'il est bon de se passer de la notion de l'induction mutuelle. La méthode logique pour traiter le sujet est de distinguer deux phases : la production d'un champ magnétique alternatif par le courant primaire, et la production d'une force électromotrice alternative de phase opposée dans les bobines primaire et secondaire. La réaction d'un courant secondaire sur le champ, et par suite sur le courant primaire, maintenant l'équivalence des ampères-tours des deux circuits, peut alors être examinée plus aisément que si l'on raisonne sur l'induction mutuelle sans s'occuper du champ.

Nous emploierons les symboles suivants :

E = force électromotrice maxima de la source. Nous admettrons que les alternances se produisent harmoniquement; par suite E sera égal à la force électromotrice nominale de la source multipliée par $\sqrt{2}$; ou $E = 10^8 \times \sqrt{2}$ volts.

e = Valeur instantanée de la force électromotrice : $e = E \sin pt$.

B = Induction maxima en unités C. G. S. par centimètre carré.

b = Valeur instantanée de l'induction : $b = B \sin (pt - 90^\circ)$.

n = Fréquence ou nombre de périodes par seconde.

I = Intensité maxima du courant primaire, en supposant le secondaire ouvert ou absent; c'est le courant d'excitation produisant le champ alternatif.

i = Valeur instantanée du courant d'excitation : ce courant varie d'une manière très complexe; il est de plus fonction de b.

S = Nombre de spires primaires.

A = Aire de la section transversale du circuit magnétique, en centimètres carrés.

l = Longueur moyenne du circuit magnétique, en centimètres.

μ = Perméabilité du fer, dont la valeur dépend de b.

$p = 2\pi n$.

t = Temps en secondes mesuré à partir d'une époque quelconque à laquelle e passe par zéro.

Nous devons d'abord chercher les conditions à remplir pour produire une bobine de réaction ne laissant passer qu'un courant juste suffisant pour produire une force contre-électromotrice de self-induction presque égale à la force électromotrice de la source.

Nous avons les relations suivantes :

La force électromotrice induite varie comme la vitesse de variation de l'induction; pour une bobine de S tours elle est

$$e_1 = SA \frac{db}{dt}, \tag{1}$$

et par suite

$$-e = SA \frac{db}{dt}; \tag{2}$$

donc

$$-E \sin pt = SA \frac{db}{dt}, \tag{3}$$

et en intégrant

$$\frac{E}{p} \cos pt = SA\, b. \tag{4}$$

Or, b est une fonction sinus, puisque i est sinusoïdal, mais les deux variables ne concordent pas en phase, comme on peut le voir d'après (2). b est maximum pour $e = 0$; et puisque $b = B \sin x$, il doit y avoir entre pt et x une différence de 90°; x est donc égal à $pt - 90^\circ$.

Donc

$$\frac{E}{p} \cos pt = SAB \sin (pt - 90^\circ), \tag{5}$$

$$E = SABp = 2\pi n SAB, \tag{6}$$

$$AS = \frac{E}{2\pi n B} = 0{,}2251 \frac{E_1}{Bn} = 22\,510\,000 \frac{E_2}{Bn} \tag{7}$$

où E_1 et E_2 sont la force électromotrice apparente en unités C. G. S. et en volts.

C'est là une relation très importante : étant donnés le voltage et la fréquence de la source, de même que l'induction maxima, nous avons une relation numérique très simple entre la section du champ et le nombre de spires primaires.

Ayant calculé la valeur numérique du second membre de l'équation, nous fixerons pour A et S certaines valeurs que nous essayerons.

Il faut ensuite déterminer la force magnétomotrice nécessaire pour produire le flux ou l'induction magnétique B. Ici la puissance à donner à l'appareil intervient. La grosseur du fil est déterminée par le courant maximum qu'il aura à supporter. Il faut tenir compte de la chute de

potentiel dans la bobine due à la perte RI^2; comme la longueur totale du fil est tout d'abord indéterminée, on peut se donner, par exemple, pour la densité de courant à pleine charge 120 ampères par centimètre carré. La section de la bobine peut alors être déterminée : dans un transformateur, il convient de la doubler pour le circuit secondaire.

Puis, on trouvera pour un transformateur à circuit magnétique fermé la longueur moyenne du circuit magnétique à l'aide d'un diagramme du contour du noyau en mesurant le long des axes de symétrie, méthode assez précise pour la pratique, cependant pas tout à fait correcte, parce que l'induction n'est pas uniforme dans toute la section.

Le flux magnétique est donné par la force magnétomotrice divisée par la résistance magnétique totale :

$$N = Ab = \frac{M}{R}. \qquad (8)$$

La résistance magnétique est proportionnelle à la longueur, à l'inverse de la section et de la perméabilité du circuit magnétique. Pour un circuit de fer continu, nous pouvons donc écrire :

$$R = \frac{l}{A\mu} \quad \text{et} \quad Ab = AM\frac{\mu}{l} \quad \text{ou} \quad b = M\frac{\mu}{l} \qquad (9)$$

$$M = 4\mu Si \quad \text{et} \quad b = 4\pi Si\frac{\mu}{l} \qquad (10)$$

En prenant les maxima, on obtient

$$B = 4\pi SI\frac{\mu}{l} \qquad (11)$$

et

$$I = \frac{Bl}{4\pi S\mu}. \qquad (12)$$

Ceci est le courant d'excitation maximum; s'il excède de 10 o/o les ampères efficaces à pleine charge, il faut augmenter S. Dans de bonnes conditions pratiques, le courant d'excitation mesuré à l'électrodynamomètre est de 2 à 5 o/o du courant à pleine charge.

Toutes les dimensions peuvent être déduites de ces formules simples, de même que les poids relatifs les plus convenables du fer et du cuivre. Quelques expériences basées sur ces formules, en substituant diverses valeurs aux facteurs principaux, rendront compte de l'influence de ces facteurs mieux que toute explication.

Le calcul de la bobine secondaire d'un transformateur est chose fort simple. Le rapport de transformation donne le rapport des tours primaires et secondaires, à moins que l'on se trouve en face de fuites magnétiques considérables; avec les transformateurs actuels à circuit magnétique fermé, il n'y a presque pas de dérivations magnétiques.

Les sections relatives des conducteurs devraient être entre elles comme la réciproque de ce rapport; toutefois, ces sections sont quelquefois à modifier pour agir sur la chute de potentiel admissible. Généralement la somme des pertes RI^2 dans les deux bobines à pleine charge ne devrait pas dépasser 2 o/o de la puissance maxima, et des considérations commerciales montrent qu'il ne faut pas la réduire à moins de 1 o/o.

Les bobines de réaction se calculent comme les transformateurs. Les conditions ordinairement données sont que la bobine puisse produire une force électromotrice d'une valeur donnée en laissant passer un courant d'une certaine intensité. Par exemple, pour alimenter des lampes à arc sur un circuit alternatif à 100 volts, il faut une bobine de réaction produisant 50 volts avec un courant de 10 ampères. Les valeurs maxima de ces facteurs peuvent être substituées à E et I dans nos formules; on choisit pour B et μ des valeurs convenables, et l'on trouve A, S et l. Le maximum du courant est quelque peu incertain, par suite du caractère d'irrégularité de sa courbe, mais dans les calculs pratiques, on peut admettre que la valeur maxima est 1,5 fois la valeur efficace.

On trouvera probablement pour la quantité de fer une valeur excessive; car la force magnétomotrice disponible étant grande, b devra être grand, ou S très petit, ce qui rend A excessif. Si l'on renforce l'induction, on augmente les pertes. Mais on peut réduire la quantité de fer en pratiquant dans le circuit magnétique une solution de continuité.

Un entrefer très étroit produit déjà un effet très marqué; il est très utile pour le réglage final, qui peut se faire en l'augmentant ou le réduisant plus ou moins.

L'effet de l'entrefer modifie nos formules ainsi

$$N = Ab = \frac{M}{R} = \frac{M}{\frac{l}{A\mu} + \frac{l_1}{A_1}}, \qquad (13)$$

l_1 et A_1 représentant la longueur et la section de

l'entrefer. Cette méthode ne s'applique que lorsque l_1 est petit. S'il n'y a pas d'épanouissement polaire, A_1 peut être pris comme égal à A plus la section d'une zone de largeur égale à la longueur de l'entrefer, ou bien, avec moins d'approximation, comme simplement égal à A. Alors

$$b = \frac{M}{\frac{l}{\mu} + l_1} = 4\pi S i \left(\frac{\mu}{l + \mu l_1}\right). \qquad (14)$$

En comparant cette équation avec celle obtenue pour les circuits magnétiques fermés

$$b = 4\pi S i \frac{\mu}{l}, \qquad (15)$$

et en se souvenant que la valeur de μ est de beaucoup supérieure à 1, on voit l'influence considérable qu'exerce l'entrefer

Les bobines de réaction qui produisent, sans presque donner lieu à des pertes, des effets analogues aux résistances, présentent un autre avantage sur ces dernières. Une résistance ne permet d'effectuer qu'une régulation linéaire; c'est-à-dire que si l'on modifie dans un certain rapport la différence de potentiel à ses bornes, le courant qui la traverse se trouve modifié dans le même rapport. Dans une bobine de réaction, le même effet est obtenu lorsque l'induction est telle que μ atteigne sa valeur de saturation. Mais en maintenant l'induction à un point où la perméabilité du fer se trouve sur la partie ascendante de sa courbe, la régulation est beaucoup plus efficace. Le courant ne peut varier qu'entre des limites beaucoup plus étroites que le voltage. Au contraire, si l'on choisit une induction correspondant à la partie descendante de la courbe de perméabilité, ces conditions sont renversées.

Cette propriété peut être utilisée pour les appareils qui introduisent des variations brusques de courant sur des circuits à potentiel constant; par exemple, pour les lampes à arc. Supposons qu'il s'agisse d'une lampe de 50 ampères sur un circuit à 100 volts; avec des résistances comme mode de réglage, le courant peut monter jusqu'à 100 ampères au moment de l'allumage. Avec une bobine de réaction dont l'induction est maintenue à 5000, on pourra éviter que le courant dépasse 65 ampères.

Ce résultat ne peut, toutefois, être obtenu qu'avec des bobines à circuit magnétique fermé: la présence d'un entrefer atténue cet effet régulateur.

Si l'on veut obtenir un moyen de réglage encore plus énergique, on peut établir un entrefer qui s'ouvre et se ferme automatiquement. Les conditions magnétiques du noyau offrent une force d'attraction suffisante pour agir sur un ressort qui remplirait cette fonction.

Toutes ces considérations n'ont d'autre but que d'énoncer quelques principes fondamentaux avec le moins de calcul possible. Il y a des méthodes plus précises pour le calcul des transformateurs, et qui nécessitent moins de tâtonnements, mais qui exigent des exercices mathématiques que ne peuvent employer les praticiens.

Coupe-circuit pneumatique Bentley (1893).

Le bras de ce coupe-circuit porte une petite pompe à air F, dont le piston, pourvu de clapets H H et sans cesse rappelé par le ressort O, laisse l'air passer dans le cylindre H quand sa tige

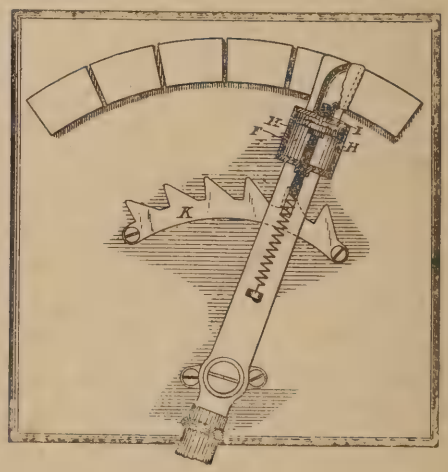


Fig. 1

descend entre les dents du secteur K, puis le refoule, à la montée de ces dents, par la soupape I, en J, au droit des contacts, de manière à souffler les étincelles.

G. R.

Circuit d'épreuve Scribner, pour tableaux téléphoniques multiples (1893)

On a représenté en figure 1 trois lignes téléphoniques reliées chacune à trois postes:

1, 2 et 3, pourvus d'un appareil d'épreuve indiqué aux stations 1 et 3 seulement.

La ligne n du poste 1 se bifurque, comme à l'ordinaire, en deux branchements aux commutateurs n^1 n^2 n^3 des différents tableaux, avec l'avertisseur individuel n^4 monté en dérivation.

La branche de n qui va aux springs et à leurs contacts aboutit au contact l du spring k de la clef d'appel et d'écoute, puis à la corde de la fiche n^5; l'autre branche est constamment reliée à la gaîne de cette fiche. D'autre part, le téléphone de l'opérateur est relié aux springs a et b de la clé d'écoute, et, par c et d, aux contacts e et f de la fiche à cordon du tableau. Enfin, tandis que la gaine de la fiche n^5 est reliée en dérivation au spring du cordon, la fiche n^5 est reliée de même, par l'autre branche de n, au contact p du cordon.

Quand on lève la fiche n^5, le spring o ferme le contact e, et p le contact f, de sorte que si l'on n'insère pas entre a et b la fiche de la clef d'écoute, le téléphone se trouve bouclé dans le circuit de la ligne n; en outre, comme g est relié à e, cette dérivation sera fermée sur la partie de la ligne n reliée aux pièces d'épreuve des fiches n^1 n^2 n^3 et à la gaine de la fiche n^5. La pile d'épreuves i sera donc alors reliée aux anneaux d'épreuve des fiches n_1 n_2 n_3 par l'intermédiaire

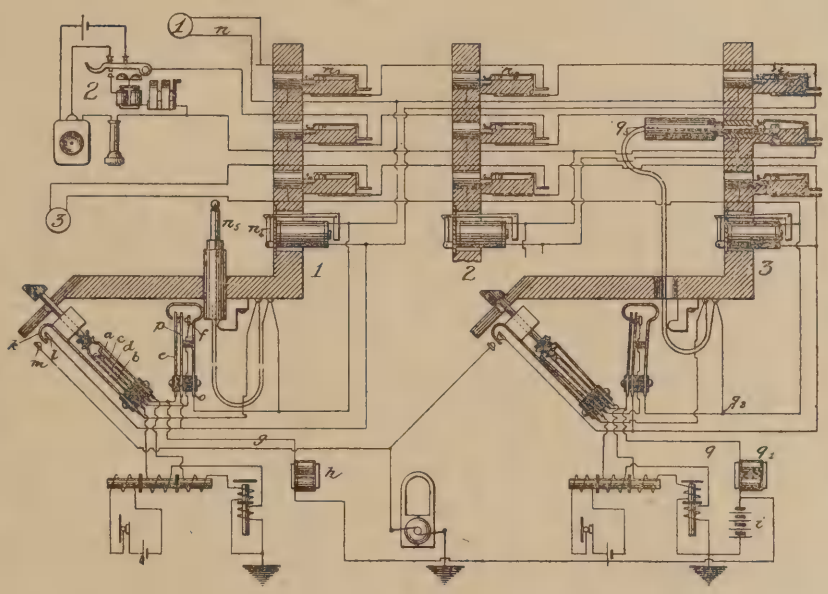


Fig. 1.

de la bobine retardatrice h toutes les fois qu'on lèvera la fiche n^5.

Après avoir reçu l'appel d'une ligne, l'opérateur lève la fiche de cette ligne, ce qui met son téléphone en circuit; puis, ayant pris connaissance de la ligne appelée, il porte cette fiche à l'anneau d'épreuves de cette ligne.

Si cette ligne est occupée, c'est-à-dire, si l'on a levé sa fiche ou fermé l'un de ses spring-jacks, il passe alors un courant dans le téléphone de l'opérateur.

Si la ligne éprouvée est celle qui appelle, le courant passe, sa fiche terminale étant levée, par i h e o, ses anneaux d'épreuve, la fiche d'épreuve, le ressort k de la clef d'écoute reliée à cette fiche, le circuit l p f d b et le téléphone, en produisant un bruit caractéristique. Quand la ligne en épreuve est, au contraire, appelée, le courant passe de i, par l'électro h et le contact o de la ligne d'appel, à laquelle la ligne appelée est déjà reliée, puis à la gaine de la fiche terminale de la ligne d'appel, laquelle fiche est insérée dans l'un des jacks de la ligne appelée. Le courant arrive ainsi aux anneaux d'épreuve de la ligne appelée, puis revient à la terre par la fiche d'épreuve, en produisant, comme précédemment, au téléphone un bruit caractéristique. Si cette ligne est libre, l'opérateur y insère immédiatement la fiche de la ligne appelante, ce qui occupe la ligne appelée.

Le bureau n° 3 étant relié à la ligne du n° 2, et la dérivation q de la pile i à la gaine de la fiche q_3, par q_1 et q_2, on voit que l'épreuve faite à l'un quelconque des anneaux des jacks des lignes 2 et 3, en 1 ou en 2, fermera le circuit de la pile sur le téléphone et indiquera l'état des lignes.

G. R.

REVUE DES TRAVAUX

RÉCENTS EN ÉLECTRICITÉ

Courbes d'aimantation du fer sous l'influence des courants alternatifs par MM. J. E. Moore et E. M. Tingley (1).

Une récente discussion sur les pertes dans le fer aimanté par des courants alternatifs a conduit les auteurs à entreprendre les études que nous rapportons ici.

Plusieurs méthodes bien connues d'expérimentation se présentaient; ils se sont finalement décidés à adopter celle proposée par le Dr Duncan. Cette méthode a déjà été décrite par son auteur. Elle consiste essentiellement à faire passer le courant alternatif à mesurer dans la bobine fixe d'un électrodynamomètre dont la bobine mobile est traversé par un courant continu instantané qu'on y envoie en chaque point de la période du courant alternatif.

La déviation est proportionnelle au produit des intensités des deux courants pendant l'instant très court où passe le courant continu. L'intensité du courant instantané étant constante, la lecture à l'électrodynamomètre donne l'intensité du courant alternatif au moment où passe le courant continu.

La valeur du courant alternatif peut ainsi être obtenue aux différents points de la période. Ces valeurs portées en ordonnées et les temps en abscisses on obtient la courbe représentative du courant.

En employant une grande résistance sans induction dans le circuit d'un second électrodynamomètre placé en dérivation sur une résistance connue également sans induction, on pourra obtenir la force électromotrice à chaque instant par le même procédé que précédemment. Les appareils sont étalonnés par comparaison avec des courants continus pour l'intensité et des forces électromotrices continues pour la tension.

Les valeurs instantanées du courant et de la force électromotrice ainsi déterminées sont représentées en grandeur et en phase. La courbe de l'induction peut être déduite de celle de la force électromotrice; si N est le nombre de

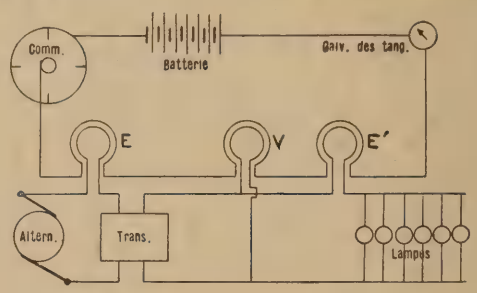


Fig. 1. — Connexions.

lignes de force comprises dans le circuit et e la force électromotrice, on a :

$$edt = dN$$

c'est une courbe dont les ordonnées peuvent être calculées en intégrant la force électromotrice entre des limites convenables.

Dans un transformateur la force magnétisante

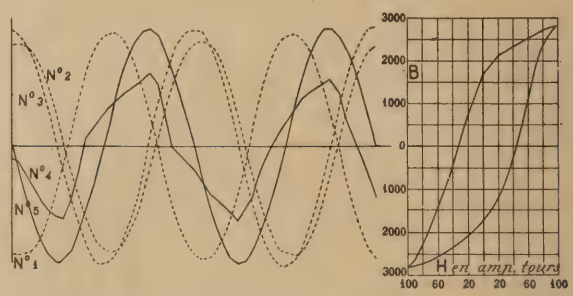


Fig. 2. — Transformateur Westinghouse de 40 lampes.
1 Ampères-tours primaires; 2 Ampères-tours secondaires; 3 Force électromotrice secondaire; 4 Ampères-tours totaux; 5 Induction.

à chaque instant eet la somme algébrique des ampères-tours primaires et secondaires. Les valeurs correspondantes de la force magnétisante et de l'induction représentées en coordonnées rectangulaires dans la courbe d'aimantation. L'aire comprise à l'intérieur de cette courbe est proportionnelle à l'énergie perdue pour un seul cycle.

Cette méthode a été appliquée à des transfor-

(1) *Electrical World*, 4 juin 1892.

mateurs industriels et a des petits anneaux plats. La disposition est représentée schématiquement sur la figure 1.

Les courants alternatifs étaient fournis par une petite machine Slattery à huit pôles et faisant 2070 tours par minute. Le commutateur employé consistait en un disque de bois dur de 14 cm de diamètre et muni de quatre pièces de contact en cuivre rouge. Un balai mobile est

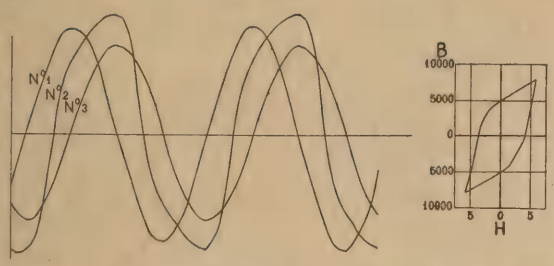


Fig. 3. — Echantillon de fer de transformateur.
1 Force électromotrice; 2 Courant; 3 Induction.

porté par un bras mobile sur un demi-cercle divisé.

Le courant continu employé est de 1/10 d'ampère. L'électrodynamomètre pour la mesure du courant est du système Siemens, celui pour la mesure de la tension est un électrodynamomètre unifilaire muni d'une échelle et d'une lunette pour la lecture des déviations. La bobine mo-

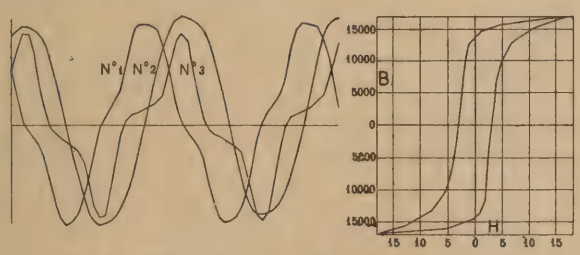


Fig. 4. — Echantillon de fer de transformateur.
1 Force électromotrice; 2 Courant; 3 Induction.

bile avait 15 mm. de diamètre et contenait 80 spires.

La figure 3 montre les résultats obtenus avec un transformateur Westinghouse de 40 lampes travaillant seulement sur 28. Les valeurs observées sont réunies ensuite par des lignes droites.

Les figures 4 et 5 représentent les résultats fournis par une ancre formée de 24 disques de fer de transformateur d'un demi-millimètre d'épaisseur et de 11 centimètres de diamètre. Le courant magnétisant était fourni par un transformateur de 50 lampes. Le secondaire contenait 27 spires avec une résistance additionnelle sans induction de 900 ohms.

Par cette méthode, en employant de petits anneaux, il suffit de peu d'instruments, les résultats sont plus exacts et peuvent être exprimés en unités C. G. S.

Dans les courbes précédentes les effets des courants de Foucault ont été négligés bien que l'épaisseur des tôles employées fût la même que dans les transformateurs.

Les auteurs se proposent d'appliquer ce qui précède à l'emploi du magnétomètre.

F. G.

Méthode magnétométrique pour la mesure des pertes dans le fer sous l'action de forces magnétisantes alternatives, par J. E. Moore (1).

L'objet principal des expériences de l'auteur était d'établir une méthode simple et précise pour obtenir la perte dans le fer pour la prédétermination du rendement des transformateurs. Dans les méthodes existantes, la mesure de l'induction B et de l'intensité d'aimantation I est effectuée par la détermination d'une force électromotrice induite. Pour passer des valeurs instantanées de la force électromotrice aux valeurs absolues correspondantes de B ou de I le procédé est laborieux, sans parler des erreurs qui peuvent être commises.

Afin de mesurer toutes ces quantités directement, l'échantillon de fer est mis sous la forme de longues bandes, ou de fils, que l'on réunit de façon à obtenir de longues tiges. Celles-ci sont munies de bobines magnétisantes, que l'on alimente par un courant alternatif de même période que celui qui sera employé pour le transformateur. Les valeurs instantanées du courant peuvent être mesurées par une méthode analogue à celle indiquée par M. Duncan, et dont il est question dans l'article précédent. Pour la mesure des valeurs correspondantes de l'aimantation ou se sert du procédé suivant.

Une petite bobine de fil isolé est suspendue près d'un des pôles de la tige. Si l'on fait à une époque donnée passer un courant instantané à travers cette bobine, celle-ci devient pour un instant un aimant dont l'intensité d'aimantation

(1) *Electrical World*, 4 février 1893.

est proportionnelle au nombre de tours de fil et au courant. On obtiendra une déviation, qui sera proportionnelle au produit des aimantations développées dans la tige et dans la bobine suspendue pendant le temps très court du passage du courant dans celle-ci. En faisant passer le courant instantané à diverses phases de l'onde, on obtiendra les déviations correspondant aux différents points, et en maintenant constante l'intensité moyenne du courant instantané, les déviations de la bobine seront proportionnelles à l'intensité d'aimantation dans la tige. Cette méthode donne donc les deux variables de la courbe d'hystérésis directement; il nous suffira de décrire la partie du dispositif servant de magnétomètre.

Le magnétomètre M (fig. 1) était formé d'une bobine de fil isolé de 2,5 centimètres de lon-

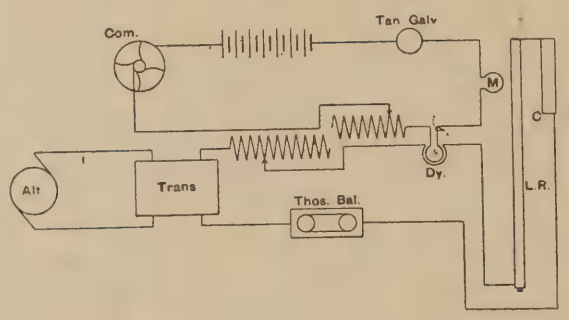


Fig. 1

gueur sur 1,5 de diamètre, suspendue bifilairement à un support rigide.

Un miroir fixé à la bobine permet de lire la déviation par une lunette et une échelle. Les oscillations sont amorties par une lame de cuivre plongeant dans l'acide sulfurique. On amenait l'axe de la bobine dans le méridien magnétique, position dans laquelle un courant instantané ne devait produire aucune déviation.

La bobine magnétisante de la longue tige LR était verticale, et avant d'y introduire l'échantillon, on se servait d'une bobine de compensation C pour empêcher la bobine M d'être déviée par le courant d'excitation du solénoïde. A la fin de l'expérience cette bobine de compensation servait à étalonner le magnétomètre à l'aide d'un courant continu.

Les figures 2 et 3 montrent les résultats obtenus par cette méthode avec une tige de 122,8 centimètres de longueur composée de 40 fils de fer de 1,6 millimètre de diamètre. Le décalage entre la force magnétisante et l'aimantation, décalage dû aux courants de Foucault, se voit très bien sur ces figures. Les résultats ont été corrigés en ramenant la force magnétisante dans la direction de l'aimantation résultante, et en re-

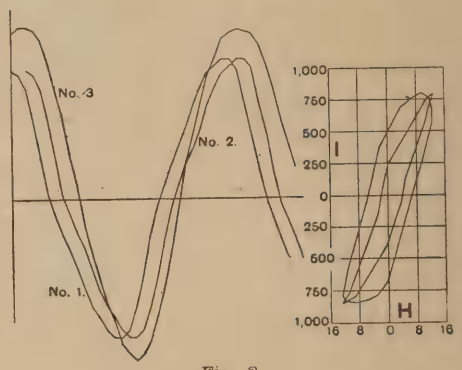


Fig. 2

tranchant la composante des courants de Foucault prise dans la même direction. Il est à remarquer que les pertes corrigées correspondent très bien aux pertes par hystérésis statique obte-

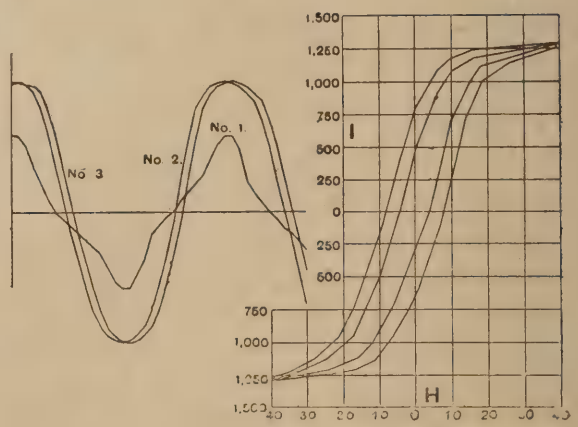


Fig. 3

nues avec les méthodes balistiques ou magnétométriques.

Sur les figures 2 et 3 les courbes d'hystérésis extérieures sont celles directement observées, les courbes intérieures sont obtenues après correction. Dans l'expérience de la figure 2 le courant d'excitation avait une intensité efficace de 0,9055 ampère. La perte dans le fer, en ergs par centimètre cube, était de 18 490 par la courbe

observée, et de 8608 après correction. Les nombres correspondant pour l'expérience figure 2 sont : intensité efficace, 2,3025 ampère; perte dans le fer, observée 39620, corrigée, 17280 ergs par centimètre cube.

A. H.

Méthode de réduction à zéro pour la mesure des pouvoirs inducteurs de liquides conducteurs, par M. F. Heerwagen (1).

L'auteur se sert d'un électromètre différentiel, dont les deux aiguilles sont sollicitées par des forces opposées, que l'on rend égales en faisant varier le rapport des potentiels de charge sur chacune des aiguilles. On réduit ainsi la déviation à zéro, l'électromètre étant d'abord plongé dans l'air, puis dans le liquide à étudier. Voici les dispositions adoptées :

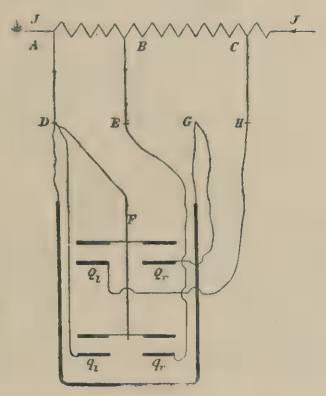


Fig. 1

Deux électromètres sont superposés; les deux aiguilles sont suspendues au même fil (fig. 1). L'aiguille, l'enveloppe extérieure et une paire de quadrants (q_l et Q_r) de chaque électromètre communiquent entre elles et avec le point A d'un circuit. Par une dérivation prise aux points B et C du même circuit, on charge les paires de quadrants q_r et Q_l.

Ces charges tendent à faire dévier l'aiguille en sens opposés. Quand les dérivations sont disposées de manière que l'aiguille reste au repos, le rapport des sensibilités des deux électromètres est inversement proportionnel au rapport des carrés de leurs différences de potentiel, par conséquent aussi au carré du rapport des résistances entre A C (R_A) et A B (R_L).

On détermine ce rapport lorsque les deux électromètres sont entourés d'air $\left(\frac{R_a}{R_l}\right)$, puis lorsque l'électromètre inférieur est plongé dans le liquide $\left(\frac{R_A}{R_L}\right)$. Dans cette dernière détermination, il faut naturellement se servir de courants alternatifs, et les résistances doivent être non-inductives. La constante diélectrique du liquide est alors donnée par

$$K = \left(\frac{R_A}{R_L} \cdot \frac{R_l}{R_a}\right)^2.$$

La figure 2 montre la disposition générale de

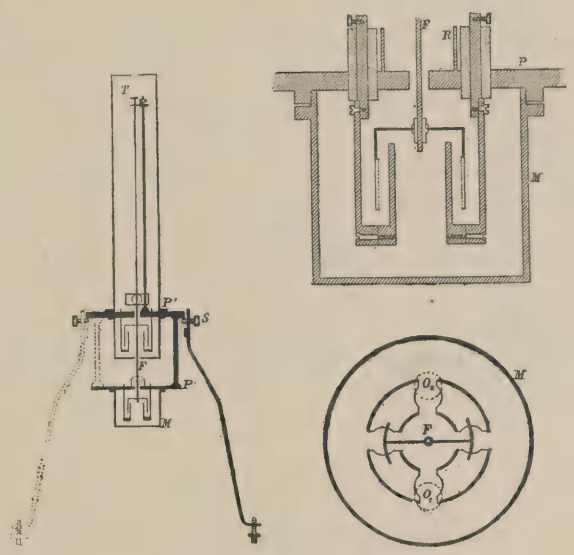


Fig. 2, 3 et 4.

l'instrument, les figures 3 et 4 donnent les détails de l'électromètre inférieur destiné à être rempli de liquide.

La plaque de laiton P porte les supports isolés des quadrants; elle laisse passer en son centre le fil F portant les deux aiguilles. Chaque aiguille est formée de deux ailes verticales très légères, montées à frottement doux sur le fil F.

Deux tubes servant à l'introduction du liquide traversent la plaque P en O_1 et O_2. Le liquide est versé jusqu'au niveau de ces tubes, que l'on recouvre de plaques de verre. Toutes les parties en contact avec le liquide sont nickelées et polies.

(1) *Wiedemann's Annalen*, n° 1, 1893, p. 35.

L'électromètre supérieur à air est construit de la même façon ; mais son aiguille est de plus grande surface et de plus grand diamètre ; sa sensibilité est environ quatre fois celle de l'électromètre à liquide. Un miroir fixé au fil de suspension permet de faire des lectures avec une lunette et une échelle.

Pour amener l'aiguille supérieure dans la position symétrique par rapport aux quadrants, on chargeait alternativement Q_r et Q_l, et l'on faisait tourner l'aiguille sur son fil de suspension jusqu'à ce que les déviations dans les deux sens fussent égales. Pour l'aiguille inférieure, on procédait d'une façon analogue. Un commutateur permettait de changer les communications en D, E, G et H.

Pour obtenir des courants alternatifs, l'auteur s'est d'abord servi d'une batterie d'accumulateurs et d'un commutateur tournant. Mais pour éviter qu'un décentrage pût rendre inégales les quantités d'électricité positives et négatives, il fit construire un petit transformateur, et se servit du courant secondaire induit par les courants alternatifs que produisait le commutateur. On pouvait faire varier la vitesse de rotation de ce dernier.

Comme moyenne d'un grand nombre de mesures, l'auteur a trouvé pour la constante diélectrique de l'eau

$$K = 79,56.$$

A. H.

Simplification des instruments de mesure,

M. G. Quincke a présenté récemment à l'Association des naturalistes allemands une série d'instruments de mesure électriques et magnétiques dont la construction est réduite à la plus grande simplicité et qui, tout en donnant les mêmes résultats que les instruments usuels, coûtent dix fois moins cher.

Nous donnerons comme exemple l'appareil représenté par la figure 1, pouvant servir de magnétomètre et de boussole des tangentes (1).

Un disque de verre A de 25 centimètres de diamètre et de 4 millimètres d'épaisseur est inséré dans la fente verticale pratiquée dans un cadre de bois B de 12 centimètres de longueur, 12 centimètres de largeur et 8 de hauteur. En son point le plus élevé, ce disque porte un cavalier C en ébonite et liège traversé par un fil de laiton recourbé à angle droit. A ce fil métallique est fixé un fil de cocon portant un miroir concave de 3,5 cm, de diamètre, sur le dos duquel est collé un anneau d'acier de 2 centimètres de diamètre.

Le miroir se meut librement dans une chambre plate fermée par des glaces planes et entourée d'ébonite. On peut faire monter ou descendre à volonté le fil de suspension ; de même que l'inclinaison en tous sens peut être réglée en tournant le disque de verre dans la fente du cadre, et en inclinant celui-ci au moyen de cales. Une petite rigole en ébonite C D est appliquée

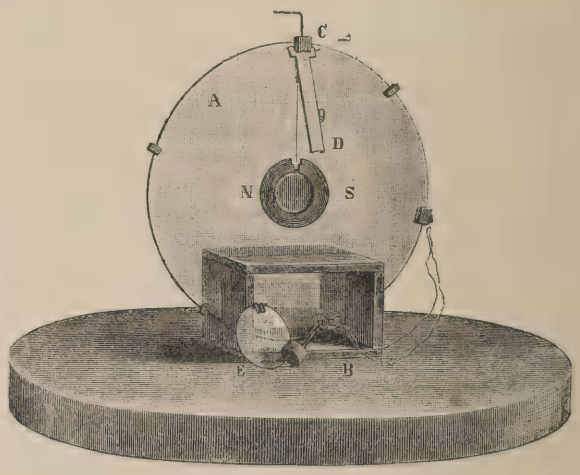


Fig. 1. — Boussole des tangentes.

contre le disque et protège le fil de cocon. La glace antérieure E est munie d'un crochet en ébonite qui permet de la fixer en place.

Pour avoir une boussole des tangentes on entoure le disque sur sa périphérie d'un fil de cuivre de 0,27 mil. de diamètre, que l'on maintient en place par des pinces. Les extrémités du fil sont tordues ensemble et soudées à deux tiges portées par un bouchon et que l'on place dans des godets à mercure.

Si l'on veut se servir de bobines avec un grand nombre de tours de fil, on les place sur le cadre de bois, en face du miroir. On obtient ainsi dans un seul et même instrument très simple plusieurs combinaisons qui nécessiteraient ordinairement l'emploi d'instruments multiples.

(1) *Wiedemann's Annalen*, n° 1, 1873, p. 25.

FAITS DIVERS

En combinant deux expériences faites par M. Schützenberger, en 1869, et par M. Eder, en 1886, M. Liesegang, de Düsseldorf, a réussi à développer des clichés photographiques par l'électricité.

Il a fait passer le courant de six éléments dans une solution presque concentrée de bisulfite de soude, contenant deux électrodes de platine séparées par un vase poreux. Si l'on plonge une plaque photographique dans le liquide entourant l'électrode négative, l'image se développe en quelques minutes avec une teinte brun-rougeâtre. Le liquide reste parfaitement limpide. La décomposition du liquide est sans inconvénient dans ce procédé, les éléments séparés se recombinant sous l'influence du courant.

Dans le bain de fixage l'image perd beaucoup en intensité, mais conserve sa teinte brunâtre.

La construction de la station centrale d'Anvers est en bonne voie. Il n'en est pas de même des travaux de canalisation dans la ville, qui ont subi des retards pour diverses raisons.

Le litho-carbone, minéral découvert il y a peu de temps dans le centre et le sud-ouest du Texas, jouit de propriétés remarquables dont l'industrie pourra tirer le plus grand profit.

Le professeur Hamilton, de la Western Electric Company, vient d'étudier ses propriétés isolantes. D'après lui cette matière serait le meilleur isolant connu jusqu'ici; des câbles isolés au litho-carbone ont donné plusieurs milliers de mégohms par kilomètre. Comment a-t-on mesuré ces mégohms, on ne le dit pas, mais on indique que l'épaisseur de la couche isolante était extrêmement faible; elle est obtenue en plongeant l'âme du câble dans le minéral fondu. Il paraît que cet isolement résiste même à une température de 300°.

Cette substance est d'une couleur brune qui rappelle le sucre candi; il est mélangé à une masse de sable rempli de petits coquillages. On peut l'en extraire à l'aide de la benzine. Elle se présente alors avec la consistance d'un sirop de sucre froid, d'une couleur noire brillante.

L'aluminium durcit par la trempe que produit un long travail de laminage, de forgeage, d'estampage ou d'étirage. Mais l'effet de la trempe est plus sensible lorsqu'on chauffe le métal au rouge et qu'on le refroidit brusquement dans l'eau.

L'aluminium allié au titane peut subir la double trempe. Cette opération consiste à chauffer le métal à une température donnée et à le refroidir brusquement dans l'eau glacée; on le chauffe ensuite à une température inférieure à la première et on le trempe de nouveau dans l'eau glacée. L'eau de trempe doit être additionnée de glycérine.

La *Revue scientifique* signale les recherches faites récemment par M. Vladimiroff à l'Institut technique de Saint-Pétersbourg, dans le but d'établir des règles ou des essais permettant d'apprécier la qualité du caoutchouc vulcanisé. Il est notoire que les méthodes classiques d'analyse ne donnent aucun résultat sûr; les essais doivent donc porter sur les propriétés physiques. M. Vladimiroff déduit d'une longue série d'expériences les conclusions suivantes, qui vont servir à l'établissement de règles pour le caoutchouc vulcanisé employé dans la marine russe :

1° Le caoutchouc ne doit pas donner le moindre signe de craquement quand on le plie à un angle de 180° après cinq heures d'exposition dans un bain d'air clos, à la température de 125° C., les échantillons pour essai ayant 6 centimètres d'épaisseur.

2° Le caoutchouc qui ne contient que la moitié de son poids d'oxydes métalliques devra s'allonger de cinq fois sa longueur avant de se rompre.

3° Le caoutchouc exempt de toute matière étrangère autre que le soufre qui a servi à sa vulcanisation doit s'allonger de sept fois au moins sa longueur avant rupture.

4° L'extension mesurée immédiatement après la rupture ne doit pas excéder 12 o/o de la longueur primitive de l'échantillon soumis aux essais. Ces échantillons auront de 3 à 12 millimètres de long, 30 millimètres de large et 6 au plus d'épaisseur.

5° La souplesse peut être déterminée en calculant le pourcentage de cendres obtenues par incinération, cette détermination peut fournir la base du choix à faire entre divers caoutchoucs pour certains usages.

6° Le caoutchouc vulcanisé ne doit pas durcir sous l'action du froid.

On ne saurait accuser le « Patent Office » américain d'examiner les brevets à la légère, du moins s'il faut en juger d'après le temps qu'il lui faut pour ces examens. Nous avons déjà eu l'occasion de faire remarquer le grand laps de temps qui s'écoule entre la date du dépôt de certains brevets et la date à laquelle ils sont délivrés. Les brevets Edison semblent avoir la spécialité des très longues incubations. L'exemple le plus récent est celui du transformateur microphonique, dont le brevet a été déposé en 1877, il y a *seize* ans, et vient seulement d'être délivré. Quant à l'invention elle-même, elle nous paraît analogue au microphone Clamond, dont il a été question récemment. Ce brevet aura-t-il pour effet de mettre aux mains de M. Edison le monopole du microphone ? Nous ne saurions le dire dès maintenant, mais nous ne serions

pas étonnés que cette invention soit encore appelée à jouer un rôle.

L'établissement d'un tramway électrique à voie de 75 centimètres, partant de la gare de Saint-Just, au plan incliné de Lyon à Saint-Just, pour aboutir sur la place de l'église Sainte-Foy et passant par Choulans, vient d'être déclaré d'utilité publique.

Voici quelques renseignements sur le matériel de cette ligne.

La largeur des locomotives et des caisses des véhicules, ainsi que leur chargement ne dépassera pas 1,70 m., et la largeur du matériel roulant, y compris toutes les saillies, notamment celle des marchepieds latéraux, restera inférieure à 2,18 m.; la hauteur du matériel roulant au-dessus des rails sera au plus de 3 mètres.

Dans les parties à deux voies, la largeur de l'entrevoie, mesurée entre les bords extérieurs des rails, sera de 1,45 m. Les alignements seront raccordés entre eux par des courbes dont le rayon ne pourra être inférieur à 20 mètres. Le maximum des déclivités est fixé à 6,8 o/o.

Le tramway sera établi dans la chaussée des rues avec rails noyés; les voies de fer seront posées au niveau du sol, sans saillie ni dépression. Les rails seront compris dans un empierrement ou dans un pavage en pavés de 20 centimètres d'épaisseur, qui régnera dans l'entre-rails, et à 40 centimètres au moins de chaque côté.

Les rails seront en acier et du poids de 14 kilogrammes au moins par mètre courant; le poids des contre-rails sera de 11 kilogrammes au moins par mètre courant. Pour les voies posées avec rails noyés dans la chaussée, les rails et les contre-rails seront posés sur des coussinets en fonte de 20 centimètres de hauteur, reposant sur des traverses en chêne espacées de un mètre d'axe en axe. Les rails et contre-rails seront réunis par des éclisses avec fourrures et entretoises en fonte entre les coussinets. Les voies posées en dehors des chaussées seront entièrement métalliques, composées de rails en acier de 16 kilogrammes et de traverses en fer en U tous les 80 centimètres, du poids de 13 kilogrammes le mètre courant.

Le nombre minimum des voyages qui devront être faits tous les jours dans chaque sens est fixé à 15. En hiver, ce nombre pourra être réduit à 10.

Les trains se composeront de deux voitures au plus, et leur longueur totale ne dépassera pas 30 mètres.

La vitesse des trains en marche sera au plus de 20 kilomètres à l'heure.

La ville de Liège invite les maisons d'électricité à lui faire des offres pour l'établissement d'une station centrale de production d'énergie électrique. Le choix du système d'installation et de distribution est laissé aux contractants.

Les projets à soumettre doivent considérer les bâtiments, les machines et les canalisations, de façon à assurer la sécurité du service, la régularité du potentiel de distribution, et à pouvoir suivre la marche progressive de la consommation. Les projets élaborés dans tous leurs détails, et accompagnés de descriptions complètes, devront être adressés au Collège des bourgmestre et échevins de Liège.

Toute personne prenant part à ce concours, qu'elle présente un seul ou plusieurs projets, devra déposer à la Caisse communale un cautionnement de 10 000 francs. En cas d'acceptation du projet, le cautionnement du concessionnaire sera élevé à 50 000 francs. La concession ne peut faire l'objet d'une transaction sans l'assentiment de la ville, et les frais d'adjudication, estimés à 5 000 francs, devront être payés à la ville par le concessionnaire dans la huitaine après l'octroi de la concession.

La seconde partie du cahier des charges se rapporte aux travaux d'installation et aux canalisations. La concession donne le droit exclusif d'établir des conducteurs électriques souterrains ou aériens; exception est faite pour les tramways électriques; de plus, la ville se réserve le droit d'employer les rues pour un système de distribution de force motrice ou d'éclairage électrique pour les services municipaux. Les câbles souterrains doivent être posés à 50 centimètres au moins de profondeur. Les conducteurs aériens, si la tension dépasse 300 volts, doivent être recouverts d'isolant. Les branchements d'abonnés seront établis par le concessionnaire aux frais de l'abonné d'après un tarif fixé par la ville tous les trois ans. La mise en service de l'installation devra avoir lieu moins d'un an après la notification de l'acceptation.

En ce qui concerne l'éclairage public, les lampes à arc seront placées au milieu des rues et des places publiques; elles devront être disposées de façon qu'après quatre heures d'éclairage un certain nombre d'entre elles puissent être éteintes. La hauteur des lampes à arc au-dessus du sol pourra être de 7 à 10 mètres. La ville garantit une consommation horaire de 34 kilowatts pendant 1460 heures, et de 17 kilowatts pendant 1740 heures.

Dans le cas de l'éclairage privé, la consommation annuelle minima de courant est fixée à 8 kilowatts-heures par lampe installée. La vente se fera au compteur loué ou acheté par l'abonné.

Les soumissionnaires devront indiquer dans leurs projets le prix de vente maximum qu'ils désirent réaliser. Le Conseil communal fixera, et se réserve le droit de modifier en tout temps, le prix de vente du courant à la ville et aux particuliers; mais ce prix ne peut être supérieur à 80 centimes le kilowatt-heure, ni inférieur à 50 centimes.

La concession expirera le 16 juillet 1918; à cette date, la ville deviendra propriétaire, sans aucune indemnité, de toutes les installations, canalisations, machines, etc. Le terrain seul sera payé au prix fixé par le contrat. Les 16 juillet 1903, 1908 ou 1913 la ville pourra, en prévenant un an d'avance, acquérir la totalité des installations à leur valeur du moment.

Pour obtenir plus de détails relatifs à ce cahier des charges, les intéressés peuvent s'adresser à l'Administration communale de Liège.

On trouve dans les manuels de nombreuses formules de bains galvanoplastiques; mais les compositions des bains employés dans la pratique sont, en général, tenues secrètes par les praticiens.

C'est en particulier le cas des bains devant servir à effectuer un dépôt de laiton; on en connaît bien plusieurs; mais ils ne donnent pas des résultats suffisamment réguliers; de plus, ils ne contiennent que peu de métal par litre. Notre confrère l'*Elektrotechniker* donne la formule suivante, qui lui a été communiquée par la maison Pfanhauser, de Vienne, et qui paraît donner de bons résultats.

Bains de laitonisage :

Eau	1	litre.
Cyanure double de cuivre et de potassium	40	grammes.
— — zinc —	40	—
— de potassium pur	2	—
Sel ammoniac cristallisé	2	—
Ammoniaque	10	—

La solution se fait en chauffant légèrement; elle peut servir immédiatement après sa préparation; elle contient 22 grammes de laiton par litre, au lieu de 7 à 10 comme les bains ordinaires.

On obtient un bain de cuivrage très riche en métal en remplaçant dans la solution précédente les 40 grammes de cyanure de zinc par la même quantité de cyanure double de cuivre et de potassium.

Le bain d'étamage de Roseleur ne contient que 0,7 gramme d'étain par litre. Pour en avoir 27 grammes par litre on dissout dans 10 litres d'eau :

Chlorure d'étain fondu	400	grammes.
Soude caustique	500	—
Cyanure de potassium	100	—

Enfin, il paraît que la simple dissolution de 40 grammes de chlorure double d'étain et d'ammoniaque dans un litre d'eau donne un excellent bain d'étamage.

Dans une récente séance de l'Académie on a annoncé la découverte d'un gisement primaire de platine. L'été dernier, M. Inostrantzeff a été témoin de la découverte, dans l'Oural, d'un gîte primaire de platine dans la région des célèbres alluvions platinifères de Nijni-Taguilsk, appartenant au prince Demidoff de San Donato et situés sur le versant occidental de l'Oural, dans le bassin des rivières Visina, Martiane et Tchaouj.

Toutes ces rivières naissant sur les flancs du mont Solovieff, on avait lieu d'y présumer et chercher depuis longtemps le gîte primaire du platine. Pourtant, les recherches restaient infructueuses. Ce n'est que par hasard que l'on découvrit, l'été passé, dans la roche-mère constituant le mont Solovieff, une enclave de 35 centimètres de diamètre, consistant en fer chromé et en serpentine avec une petite quantité de dolomie. A la loupe, on parvient à découvrir dans la roche de l'enclave de petits grains de platine natif.

Le *Journal of the Franklin Institute* donne la composition d'un grand nombre d'alliages de coussinets et les résultats obtenus avec quelques-uns. Il donne quelques conclusions intéressantes relatives au choix à faire d'un alliage destiné à cet emploi, en se basant sur ce principe résultant de l'expérience que l'alliage de coussinets qui résiste le mieux à l'usure est celui qui, essayé à la torsion, est susceptible de présenter, avant de se rompre l'allongement le plus considérable.

Les essais faits dans cet ordre d'idées ont conduit à l'adoption d'un alliage dont la composition est 77 de cuivre, 8 d'étain et 15 de plomb.

Nous avons annoncé en son temps la création d'une chaire d'Electricité industrielle à l'Ecole nationale des Mines.

Comme nous l'avions prévu, c'est M. Potier, membre de l'Institut, ingénieur en chef des mines, qui vient d'être nommé titulaire de cette chaire.

M. Potier, malade en ce moment, sera remplacé pour l'année scolaire courante par M. Blondel, ingénieur des Ponts et Chaussées.

Eclairage électrique.

Constituée vers la fin de 1890 à Turin, au capital de 1 800 000 lires, la Société piémontaise d'électricité a acheté la concession de l'éclairage électrique de Turin à la Société générale pour l'éclairage de Rome, et l'exploite depuis deux ans.

La durée de la concession est de dix-huit ans, avec monopole exclusif pour l'éclairage municipal. Les résultats d'exploitation sont les suivants :

1889	perte :	11 269	lires.
1890	bénéfice :	52 995	—
1891	—	103 000	—
1892	—	122 189	—

Ce sont là des résultats encourageants.

Télégraphie et Téléphonie.

Nous disions il y a quelque temps que la Russie cherchait à faire consentir la Chine à l'établissement de communications directes entre ces deux pays. Un nouveau pas vient d'être fait dans cette voie.

A la suite d'une convention spéciale entre les deux gouvernements, les réseaux télégraphiques de la Russie et de la Chine viennent d'être reliés directement par une ligne terrestre allant de Blagowestschensk à Helampo. Cette communication nouvelle a été ouvérte au service international le 2 mars, au même prix que celles qui existaient déjà jusqu'à présent soit par la ligne de l'Amour et Wladiwostock, soit par les câbles de la mer de Chine.

Nous venons de recevoir la nouvelle *Carte des lignes télégraphiques internationales et des câbles sous-marins*, une feuille mesurant 1 m. sur 0,70 m. (prix 2,50 fr.).

Cette carte, que met en vente la librairie Ch. Delagrave, 15, rue Soufflot, indique le tracé des grandes lignes du réseau international et des câbles sous-marins, la taxe par mot pour chaque pays (y compris les dépêches de presse), les différences essentielles des divers régimes télégraphiques : intérieur, européen et extra-européen, etc.

C'est la septième des cartes de l'*Album des services maritimes postaux français et étrangers*, par MM. Paul Jaccottey et Maxime Mabyre. La compétence toute spéciale des auteurs est pour le public une garantie de bonne exécution et d'exactitude de cet important travail; la direction de M. Emile Levasseur, membre de l'Institut, suffit pour la recommander au public.

Des expériences viennent d'être faites en Algérie sur la communication entre les trains en marche. Les résultats de ces expériences ont été particulièrement satisfaisants, mais on ne donne pas de détails sur le système employé.

Les essais ont eu lieu sur la ligne de chemin de fer appartenant aux mines de Mokta-el-Hadid, et ont pleinement réussi. Voici, d'ailleurs, le programme des expériences qui ont été faites :

1° Echange de dépêches télégraphiques entre un train en marche et une gare;

2° Echange de dépêches entre deux trains en marche;

3° Arrêt télégraphique d'un train lancé sur une voie et hors de vue; il lui a été ordonné de s'arrêter, de repartir et de rentrer en gare;

4° Deux trains lancés à la rencontre à une vitesse d'express et s'approchant d'environ 2 kilomètres par minute ont évité la collision en se prévenant mutuellement et automatiquement par l'indication de leur direction et du kilomètre où ils se trouvaient.

On voit que tous les cas avaient été prévus, et il ressort de ces expériences, dirigées par l'inventeur du système, M. Etienne, que désormais, quelle que soit l'allure des trains, ils pourront toujours être suivis par les gares lesquelles pourront au cours de leur trajet leur donner toutes les indications propres à assurer la sécurité la plus complète des voyageurs.

A la suite des critiques formulées par la presse en ce qui concerne le service téléphonique à Vienne, le directeur de ce réseau s'est adressé à M. J. Hopkinson pour faire examiner toute l'installation et étudier le fonctionnement général du service. M. Hopkinson vient de publier son rapport; en voici les parties essentielles :

Sur les lignes téléphoniques de Vienne, le transmission est nette et claire, plus nette que sur les réseaux de Londres, de Paris et de Berlin.

Les lignes sont suffisamment exemptes de bruits autres que ceux résultant des conversations. Toutefois, on entend quelquefois des transmissions télégraphiques et des appels sur d'autres lignes. « Il m'est même arrivé une fois, dit M. Hopkinson, d'entendre une conversation sur une ligne voisine; mais sous ce rapport Vienne est dans de bien meilleures conditions que Londres ou Berlin, mais moins que Paris, où les lignes ne sont presque jamais troublées par des bruits extérieurs. »

En ce qui concerne la rapidité des mises en communication des abonnés, Vienne est incontestablement le meilleur réseau téléphonique important que je connaisse. Dans les cas que j'ai observés, il suffit de 25 à 75 secondes pour établir une communication d'abonné à abonné. A Berlin, la durée est de 1 1/2 à 2 minutes; à Paris, de 3 à 4 minutes et même quelquefois plus. Enfin, à Londres, la plus courte durée que j'ai observée était d'une minute, mais il m'est aussi arrivé d'attendre de 3 à 5 minutes.

Cet avantage de la rapidité dans le service des communications est dû en grande partie à ce fait qu'il n'existe à Vienne qu'un seul bureau central avec trois commutateurs multiples, tandis que dans les autres capitales il y a un grand nombre de bureaux reliés par des lignes auxiliaires.

Les lignes viennoises sont en partie aériennes avec retour par la terre; de là quelques troubles. Mais les câbles se tiennent très bien, et sur 70 000 fils on n'en a jamais eu à réparer que 20. Je ne vois donc pas la nécessité de les remplacer.

Les commutateurs multiples permettent de relier entre eux 8000 abonnés. Leurs organes sont beaucoup plus robustes que ceux de la Western Electric Company, connue comme la meilleure fabrique de commutateurs.

Les abonnés viennois payent 210 francs par an quand ils se trouvent à moins de deux kilomètres du bureau central. A Londres, ils payent 500 francs; à Paris, 400 francs, et à Berlin, dans un rayon d'un kilomètre du bureau central, 188 francs Si l'on considère que l'Etat autrichien prélève une taxe de 25 francs par abonné et par an, on voit que le prix d'abonnement au téléphone à Vienne est relativement modéré.

Imprimeur-Gérant : V. Nory.

Imprimerie de la Lumière Électrique. — Paris, 31 boulevard des Italiens.

TABLE DES MATIÈRES

DU

TOME QUARANTE-SEPTIÈME

TABLE PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE

A

Pages

Accumulateur Eickemeyer 32
— Griscom 429
— Michel 474
— cellulaire Wasburn 474
— (recherches sur les), par J.-F. Weyde 133
Aimantation (courbes d') du fer sous l'influence des courants alternatifs, par J.-E. Moore et E.-M. Tingley 626
Alternateur Siemens, Nebel et Colling 108
Ampèremètre Illig 578
— enregistreur Weston 579
Analogies entre les formules de mécanique et d'électricité, par MM. F.-G. Bedell et A.-C. Crehore 489
Anti-inducteur pour tableaux multiples Scribner .. 277
Appareil de démonstration des expériences de Hertz, par L. Zehnder 334
— téléphoniques Mix et Genest 423
Appel Decrow 65
Applications mécaniques de l'électricité. — *Gustave Richard* 61, 251, 363
Armature à pôles articulés Siemens 13
Ascenseur électrique Sée et Tyler 368
— Bassett 62
Avertisseur d'incendie d'Almeyda et Da Sylva 66
— électriques d'incendie de la ville de Paris. — *G. Pellissier* 401

B

Bain électrolytique double Fletcher 32
Balais pour dynamo Wood 112
Blanchiment de la tourbe, procédé Cannot 275
Pages
Boite de canalisation Hart 323
Boussole auto-directrice Von Peichl 364
— Ritchie 474
Bibliographie :
L'induction magnétique dans le fer et les métaux, par M. Ewing 44
Leçons sur l'électricité et le magnétisme, par M. Duhem. — *J. Blondin* 45

C

Câbles de sûreté pour transmissions minières Charleton et Walker 363
Canalisations électriques (détermination des défauts d'isolement des), par M. O. Frœlich 475, 520
— Davis et Crompton 186
Caniveaux pour câbles isolés Thornton, Clark et Muirhead 186
Caoutchouc (le) du Haut-Orénoque. — *Dr Lucien Morisse* 287, 337, 441, 489
Chemins de fer et tramways électriques. — *Gustave Richard* 12, 466
Chimie (la) et les lois électriques, par Vislicenus ... 141
Circuit d'épreuve Scribner pour tableaux téléphoniques multiples 624
Clavier d'expression Singer 371
Collecteur multiple Cowan 109
— de l'électricité atmosphérique. — *L. Palmieri.* 506
Compteur Teague 29
— pendulaire Edmondson et Oulton 519
Compteur-moteur Wacker-Schuckert 182
Commutateur Goold 580
Condensateurs (sur les) agissant par transformateurs d'induction et directement. — *Paul Boucherot* 151

Pages

Congrès des électriciens à Chicago en 1893..... 484
Contrôleur de rondes Tilden et Hersey..... 65
Correspondance. — Lettre de M. Menges..... 574
Coupe-circuit multiple Pattison..... 585
— Dingle et Urquhart..... 80
— E. Thomson..... 578
— pneumatique Bentley..... 624
Courants triphasés (recherches sur les) par H. Goerges 81
— alternatifs (un problème relatif à la fréquence des), par M. E. Arnold..... 386
— polyphasés (sur les), par P.-A. Winand..... 587
Creuset électrique de Benardos..... 807

D

Debit (sur le) spécifique des induits de dynamos avec courant continu, courants alternatifs et courants polyphasés, par H. Goerges..... 133
Décharge électrique (phénomènes lumineux provoqués par la), par J. Vicentini..... 142
— électriques de haute fréquence, par Campbell Swinton..... 535
Déclenchement électrique Hewett..... 62
Détails de construction des machines dynamo. — *Gustave Richard*..... 107, 418
Détermination des coefficients de self-induction au moyen des oscillations électriques, par M. Janet..... 356
Diamant (la reproduction du). — *A. Rigaut*..... 317
Distribution polyphasée Siemens et Halske..... 116
— (sur la) de l'énergie par stations centrales, par M. Cawthorne Unwin..... 344
— Pfanckuche..... 114
Dynamo à commande directe de la General Electric C°..... 184
— Bassett..... 13
— Coradson..... 14
— Siemens..... 13
— Van Depoele..... 469
— Reignier et Parrot..... 110
— Parcell..... 111
— Bradley..... 111
— Mac Elroy..... 113
— Hemming..... 412
— Lamme..... 412
— Lundell et Johnston..... 413
— Patterson et Furnaux..... 414
— Bogue..... 414
— White..... 414
— Wood..... 416
— Bradley..... 416
— Storey..... 417

E

Pages

Eclairage électrique de Budapest..... 524
Electricité (sur le développement de l'). — *W.-H. Preece*..... 543, 593
— statique et dynamique (sur les phénomènes d'). *Frank Géraldy*..... 464
— (l') et la végétation. — *Frank Géraldy*..... 376
— (sur les progrès de l') en 1892. — *P.-H. Ledeboer*..... 7
— (la théorie positive de l') atmosphérique (confirmée par des observationss et expériences nouvelles. — *L. Palmieri*..... 69, 167
Electrolyse (l') par courants alternatifs. — *Dr Riccardo Malagoli*..... 451, 610
— procédé d', par Andréoli..... 236
— Faure..... 236
— du chlorure de sodium, procédé Bamberg..... 32
Electrolyseur (appareil) Craney..... 32
— au mercure Kellner..... 176
Electro-calorifique (un nouveau procédé). — *H. Ponthière*..... 459
Emploi d'un shunt à grande self-induction dans la télégraphie par câble..... 236
Equations (sur les) physiques. — *Clavenad*..... 124
Expériences de traction électrique..... 424
— (les) de lord Armstrong. — *J. Blondin*..... 513

F

Fabrication électrolytique du chlore et de la soude, par MM. Cross et Bevan..... 421
— électrolytique des tubes, procédé Picard et Tanière..... 322

Faits divers :

Accumulateurs..... 398
Adoption du système métrique en Angleterre.... 398
Aérostat dirigeable..... 397
Appareil électrique de M. E. Thomson..... 548
Application (nouvelle) de l'électricité..... 299, 498
— — de la lumière électrique.. 99
— de l'électricité aux ballons..... 249
— — aux mines..... 148, 348
— — au théâtre..... 147
— — en sucrerie..... 198
— — au port de Bilbao.... 397
— — à la photographie... 399
Association Britannique..... 469
— d'électriciens à Berlin..... 299

Pages

Association-Réunion de la National Electric Light. 597
Bains galvanoplastiques..... 633
Brevets d'invention..... 398
— Edison..... 348, 397, 631
Bureau de contrôle des installations électriques.. 447
Câbles électriques de New-York..... 397
Carte des lignes d'égale déclinaison magnétique. 448
Charbon pour lampes à arc..... 299
Chaire d'électricité industrielle à l'École des mines 398, 632
Chambre syndicale des industries électriques..... 347
Chauffage électrique..... 548
Chemin de fer électrique à Saint-Moritz..... 48
— aérien à Liverpool..... 148, 448
— à grande vitesse..... 497
— du monde..... 599
Chloroforme (fabrication électrolytique du)..... 147
Communications électriques entre Paris et Madrid 478
Composition lubrifiante..... 398
Concours proposé par l'Académie de Turin..... 97
Conférence présidée par lord Kelvin..... 598
Conservation du bois..... 497
Courants polyphasés..... 297
Cours d'électricité à Grenoble..... 299
— — à Paris..... 548
Cuivre natif..... 197
Déclinaison magnétique..... 198
Dépôts de métaux..... 497
Développement des clichés par l'électricité..... 631
Diamant (présence du fer dans le)..... 148, 449
Electricité médicale..... 197
Electrocution..... 47
Electrolyse..... 598
Electrothérapeutique..... 497
Emploi du sounder en France..... 100
Epuration des eaux d'alimentation..... 197
Essai du caoutchouc..... 631
Expériences électriques..... 549
Exposition universelle à Lyon..... 197
— à Londres..... 197
— de Chicago..... 47, 97, 148, 299, 550, 597
— d'hygiène à Rome..... 598
Fabrication d'accumulateurs..... 448
Figures électriques..... 448
Fils de cuivre isolés..... 299
Force motrice du vent..... 429
Gisements de manganèse..... 499
— de platine..... 633
Inauguration de la ligne électrique à Liverpool.. 48
Invention de la lampe à incandescence..... 548
Inventions de M. Deprez..... 597
Laboratoire de l'Ecole Normale..... 498
Lumière de l'arc..... 550
Météorologie..... 48, 399
Mort de M. Van Rysselberghe..... 347

Pages

Mort de M. Whipple..... 398
— du professeur J. Stefan..... 197
Moteurs à gaz..... 297
Moteurs électriques pour mines..... 599
Observatoire du Parc Saint-Maur..... 97
Ouvrage d'électricité et de magnétisme (le premier)..... 598
Perturbations magnétiques..... 449
Pile électrique (nouvelle)..... 549
Pompe à vide..... 449
Pose des conducteurs électriques..... 449
Précurseur de Franklin..... 497
Préparation de l'oxyde de plomb..... 499
— du vermillon par l'électrolyse..... 147
— de l'indigo..... 198
Prévision du temps..... 499
Prix de l'électricité à Berlin..... 398
— décernés par l'Académie des Sciences..... 447
Procès en Amérique..... 298
Production du cuivre en Russie..... 549
Réclame par l'électricité..... 48
Résistances étalons..... 149
— thermique du mercure..... 198
— non inductives..... 449
Retaillage des limes par l'électricité..... 98
Sismographes électriques..... 297
Société électrotechnique de Berlin..... 448
Soudures pour l'aluminium..... 397
Sulfure de zinc phosphorescent..... 348
Système de mesure anglais..... 449
Température de l'arc électrique..... 98
Thermo-électricité..... 147
Traction électrique à Lyon..... 249, 298
— par accumulateurs..... 148, 398
Trains électriques..... 148
Tramway électrique au Havre..... 47
— — à Charleroi..... 147
— — à Vienne..... 298
— — à Budapest..... 548
— — en Suisse..... 98
— — en France..... 499, 549
— — en Amérique..... 598
— — à Lyon..... 632
— — (développement des)..... 549
— — à double conducteur aérien.. 599
Tramway à moteurs à gaz..... 597
— à pétrole, à benzine, etc..... 597
Transmission électrique d'un incendie..... 497
— — de l'énergie..... 547
— des lettres par l'électricité..... 198
— de force électrique..... 348
Utilisation des chutes d'eau en Amérique..... 98
— de la chaleur solaire..... 299
Vernis au caoutchouc..... 197
Verre capable d'absorber les rayons de chaleur. 497

Pages

Éclairage électrique :

à Rotterdam 47
à Berlin 99
à Zurich 99
à Londres 199
au Caire 200
à Monaco 200
en province 200
à Lyon 249, 499
à Honfleur 499
à Sofia 297
à Quintin 299
à Haïti 300
à Albi 449
à Paris 250
en France 349
à Trévise 399
à Ostende 399
à Rouen 49
à Rome 149
à Bruxelles 149, 199
en Colombie 250
à Budapest 299
à Gênes 400
à Ancône 400
à Turin 633
des omnibus de Londres 97
des trains 48
Eclairage par le gaz 48
— par accumulateurs 599
Consommation de gaz à Paris 399
Fanal électrique 499
Fabrique de lampes Volta 599
Industrie gazière en France 250
Prix de revient des lampes électriques 500
Secteur d'éclairage de la rive gauche 449
Station centrale aux Etats-Unis 198
— — à Stuttgart 547
— — d'Aix-la-Chapelle 549
— — de Brooklyn 199
— — à Hanovre 399
— — d'Athènes 400
— — à Strasbourg 347
— — de Saint-Louis 599
— — à Anvers 631
— — à Liège 632
Usine d'électricité des Halles 349

Télégraphie :

en Allemagne 99
en Egypte 250
au Val d'Andorre 350
en France 400, 550
en Bolivie 49
en Afrique 49, 150, 400, 550

Pages

en Chine 633
sous-marine en France 400
— aux Colonies 600
transmettant les nouvelles astronomiques 600
Câble sous-marin de Marseille à Tunis 350
— du Pacifique 50
Carte des lignes télégraphiques 634

Téléphonie :

à Berlin 600
en Europe 300
en Autriche 400
Administation des postes et télégraphes 49
Câble de réserve pour réparations 600
Dépêches téléphonées 600
Exploitation des téléphones en France 150
Interruption du service des téléphones à New-York 97
Ligne Boston-Chicago 600
— téléphoniques entre Stockholm et Christiania 200
Perfectionnements du téléphone 49
Pose d'un câble sous-marin 400
Rapport sur la télégraphie et la teléphonie. 450, 500
Réseau téléphonique de Vienne 49, 634

Fers à souder Coffin 309
Feux (les) d'artifice électriques 380
Force électromotrice (relation entre la) voltaïque et la pression, par G. Gore 530, 592
Forge électrique Angell et Burton 302
— — E. Ries 306
— — Benardos (de) 307
— — Coffin 306
Fours électriques (sur quelques nouveaux). — *A. Rigaut* 575
Frein électrique (servo-) Picou 328
— électromagnétique de Bovet ..... 2[illegible]

G

Galvanomètre balistique Willyoung 425
Gutta-percha (préparation de la). — *Dr L. Brasse.* 101, 216
— (sur l'électrification de la). — *E. Brylinski* 601

H

Harmoniques (l'effet des) sur la transmission de l'énergie par les courants alternatifs, par H.-A. Rowland 42
Horloges électriques Ethridge 63

Pages

Hystérésis et viscosité diélectriques. — *A. Hess*.... 469
— diélectrique, par A. Hess. Société internationale des électriciens 279

I

Impédance d'un circuit formé de dérivations, par Alex. Russell..... 533
Indicateur de vitesse Johnston et Fletcher..... 365
Indice (l') de réfraction des rayons électriques dans l'alcool, par H.-O.-G. Ellinger..... 244
Induction électromagnétique (nouvelle loi d'). — *E. Carvallo* 18
Installations (les) de transport et de distribution de force par l'électricité à Gênes. — *J.-P. Anney*. 351
— (le bureau de contrôle des) électriques —. *Frank Géraldy*..... 165
Instruments de mesure (simplification des)..... 630
Isolateurs au mica Pratt..... 236

L

Lampes à incandescence Korner..... 214
— — Grover..... 215
— — Frey..... 212, 619
— — Smith... 212
— Evered..... 212
— — Houghton..... 213
— — White..... 213
— — Stepney..... 678
— — Applegate..... 618
— — von Mito..... 619
— — Lean et Burleigh..... 619
— — Drake..... 620
— — Hutchinson..... 620
— — Rockwell 620
— — Forster..... 620
— — Keil..... 621
— — Coad..... 621
— — (les). — *Gustave Richard*. 212, 618
— à arc Akester..... 162
— — Tipping..... 163
— — Sugden et Sandy..... 163
— — Braun..... 164
— — Mathiesen..... 158
— — Higgam..... 158
— — Mosher..... 153
— — Meissner..... 159
— — Maquaire..... 160
— — Edwards..... 161

Pages

Lampes à arc Scribner..... 161
— — Warner..... 162
— — E. Thomson..... 507
— — Rathbone et Houghton..... 508
— — Hansen..... 508
— — Wood..... 509
— — Brockie..... 512
— — Sayers..... 511
— — Siemens..... 512
— — (les). — *Gustave Richard*..... 158, 507
— (la nouvelle) Westinghouse..... 383
Ligne téléphonique New-York-Chicago, par M. J. Wetzler..... 79
Lois (les) électriques et la chimie, par J. Vislicenus.. 141

M

Machine à courant continu sans collecteur de Bernstein, par M. E. Venezian..... 384
— à écrire Neal et Eaton..... 251
— à recouvrir les fils, de Barrett..... 130
Mesure des températures par les procédés électriques (recherches récentes sur la). — *J. Blondin*..... 21, 75, 125
— (sur la) de la puissance dans les courants polyphasés, par M. Blondel..... 139
— (méthode magnétométrique pour la) des pertes dans le fer sous l'action de forces magnétisantes alternatives, par J.-E. Moore..... 627
— (méthode de réduction à zéro pour la) des pouvoirs inducteurs de liquides conducteurs, par F. Herwagen..... 629
Méthode (sur une) de compensation de la réaction d'induit, par H.-J. Ryan..... 237
— (erreurs d'observation dans la) des trois voltmètres, par A. Russel..... 190
Microphone Clamond..... 132
Mire électrique Van Skoda..... 67
Mise (sur la) à la terre des circuits conducteurs. — *Frank Géraldy*..... 310
Modification (une) nécessaire de la loi d'Ohm, par M. Fernando Sanford..... 138
Moteurs (les) à gaz dans l'éclairage électrique, par M. E. Dowson..... 274
— à courants alternatifs (recherches expérimentales sur les), par J.-A. Fleming..... 536
— à courants alternatifs (sur les), par M. E. Arnold..... 426
— à courants alternatifs (à propos du nouveau) de E. Brown. — *Hutin et Leblanc*..... 371
— Bary. — *F. Guilbert*..... 420
Moteur-compteur Wacker-Schuckert..... 182
Mouvements (sur les) vibratoires dans un milieu isotrope. — *Clavenad*..... 272

Pages

N

Nécrologie :
Mort de M. Gordon 439
— de M. Archereau 337

P

Photomètre au sélénium, E. Thomas 29
Photométrie et photoptométrie. — *Ch. Henry*. 201, 564
— (étalon secondaire pour la) des lampes à arc. — *F. Guilbert* 573
Physiologiques (effets) des courants de haute fréquence, par N. Tesla 535
Piano électrique Pain 369
Piles Maquay 422
— Washburn 133
— sèche Vogt 130
— — au chlorure d'argent Hard 83
— voltaïques à électrolytes fondus, par M. J. Brown 94
Plomb fusible Stanley et Kelman 28
Pluie (production artificielle de la). — *G. Pellissier*. 501
Poêle thermo-électrique Giraud 231
Pompe électrique Pocock 61
Poste téléphonique anglais 329
Préparation de la gutta-percha. — Dr *Léon Brasse* 101, 216
— (la) de l'azote pur, par R. Threlfall 533
Production (la) artificielle de la pluie et l'action de l'électricité sur la vapeur d'eau. — *G. Pellissier* 501
Progrès de l'électricité (sur les) en 1892. — *P.-H. Ledeboer* 7
Projecteur Crompton et Pochin 512
Propriétés magnétiques du fer pur, par Francis Lydall et Alfred Pocklington 485
Purification (note sur la) du mercure, par M. W. Jaeger 238

R

Raccordement Purcell 385
Raffinage électrolytique des métaux, par Placet et Bonnet 183
Rappel Scribner 367
Régulateur Mac Elroy 113
— Elkins 113
— Houghton et White 115
— Burrell 61
Régulateur (dispositif) de la pression de vapeur, système W. Reid 27
Relais télégraphique Safford 276
Réseaux (sur les) de conducteurs électriques. Propriété réciproque de deux branches, par M. Vaschy 189
Résonateur de Hertz (expérience sur le), par M. Tesla 91

S

Self-induction et capacité. — *F. Guilbert* 117, 222, 261
Signal et sonnerie à détonation de C. et E. Fein. — *E. Zetzsche* 373
Signaleur Martin 366
Sinusoïdes (la déformation des) dans les machines. — *Paul Boucherot* 551
Société française de physique 186, 481, 583
— internationale des électriciens. 279, 484, 529, 585
— — — (sur le couplage des alternateurs), par M. Blondel 34, 85
— internationale des électriciens. Sur les diélectriques, par A. Hess 279
— de physique de Berlin 41
— de physique de Londres 588
Sonnerie Wagner 365
— et annonciateurs Mix et Genest 83
— Ross 64
— et signal à détonation de C. et E. Fein. — *E. Zetzsche* 373
Soudure électrique Purdy 309
— — Angell et Burton 302
— — E. Thomson 306
— — (la). — *Gustave Richard* 301
Station (la) municipale d'électricité de Trente 385
— (la) centrale de Dessau. — *G. Pellissier*. 266, 312
— centrale d'électricité de Mulhouse 178

T

Tableau téléphonique multiple Scribner (Western Electric Co) 322
Tannage électrique procédé Pinna 185
Téléphone double Hayes et Richards 129
— Groper 321
— Swinton 33
— domestique Anders et Kottgen 276
Téléphonie (la) à grande distance. - *F. Géraldy*. 562
— — et la loi de Preece. 580
Télégraphie par câble (emploi d'un shunt à grande self-induction) 236

Pages

Téléthermomètre Richard 368
Théorie (sur une) électrolytique des diélectriques, par A.-P. Chattock 244 284
— (la) positive de l'électricité atmosphérique confirmée par des observations et expériences nouvelles. — *L. Palmieri* 69, 167
Traction électrique Wynne 78
— électrique, système Cattori avec distribution en série par canalisation souterraine 233
— électrique (expériences de) 424
Tramway à contacts Mansfield 471
— électrique Hunter 15
— — Booth 15
— — Riker 16
— — Bair 16
— et chemins de fer électriques. — *Gustave Richard* 12, 466
Transformateurs (influence de la fréquence dans le fonctionnement des), par Ch.-P. Steinmetz. 391
— (protecteur et contrôleur pour) Brown 528
— (recherches sur les), par M. J.-A. Fleming. 239, 283, 430, 387, 429, 536
— à circuits magnétiques ouverts et fermés, par W.-E. Ayrton et W.-E Sumpner 187
— à perte magnétique réduite Siemens 474
— compensateur E. Thomson 116
— (le calcul des) et des bobines de réaction, par J. Witcher 621
Transformation des courants alternatifs en courants continus. Procédés Hutin et Leblanc. — *F. Guilbert* 51
Transmission Harrington 467
— Allington 467
— Tesla 418
— variable Soley 14

Pages

Transmission articulée Hunt 14
— de l'énergie par les courants alternatifs (l'effet des harmoniques sur la), par H.-A. Rowland 42
Trieur électromagnétique Lovett 235
Trolly Mason 470
— Bentley 470
— Hunt 14
Turbines (les) électriques. — *Henry de Graffigny*. 319
Turbo-moteur Edwards 31
— Laval 321

U

Unités électriques du Board of Trade 194
Utilisation (l') des forces naturelles 527

V

Végétation (la) et l'électricité. — *Frank Géraldy* .. 376
Verrou électrique Bosh 63
Viscosité diélectrique (hystérésis et). — *A. Hess* ... 466
Voie souterraine Irish 470
Voltmètre Weston 83

W

Wattmètre différentiel pour courants alternatifs, par A.-E. Kennelly 378

TABLE PAR NOMS D'AUTEURS

A

Pages

Akester. — Lampe à arc..... 162
Allington. — Transmission..... 467
Almeyda. — Avertisseur d'incendie,..... 66
Anders. — Téléphone domestique..... 276
Andréoli. — Procédé électrolytique..... 230
Angell. — Soudure électrique..... 302
— Forge électrique..... 302
Anney (J.-P.) — Les installations de transport et de distribution de force par l'électricité à Gênes. 351
Applegate. — Lampe à incandescence..... 618
Armstrong (Lord). — Expériences d'électricité..... 513
Arnold (E.). — Contribution au calcul des moteurs à courants alternatifs..... 426
— Problème relatif à la fréquence des courants alternatifs..... 386
Arons. — Arc à électrodes de mercure..... 41
Ayrton (W.-E.) Transformateurs à circuits magnétiques ouverts et fermés..... 187

B

Bair. — Tramway câblo-électrique..... 16
Bamberg. — Electrolyse du chlorure de sodium... 33
Barrett. — Machine à recouvrir les fils..... 130
Bary. — Moteur..... 420
Bassett. — Ascenseur..... 62
— Dynamo à accouplement direct..... 13
Bedell (F.-C.). — Analogies entre les formules de mécanique et d'électricité..... 487
Benardos (de). — Forge électrique..... 307
— Creuset électrique..... 307
Bentley. — Trolly..... 470
— Coupe-circuit pneumatique..... 624
Bernstein. — Machine à courant continu sans collecteur..... 384
Bevan. — Fabrication électrolytique du chlore et de la soude..... 421

Pages

Blondel. — Sur le couplage des alternateurs (Société internationale des électriciens)..... 34, 85
— Sur la mesure de la puissance dans les courants polyphasés..... 139
Blondin (J.) — Les expériences de lord Armstrong. 513
— Recherches récentes sur la mesure des températures par les procédés électriques 21, 75, 125
Blyth. — Moulin à vent..... 527
Bogue. — Dynamo..... 414
Bonnet. — Raffinage électrolytique des métaux.... 183
Booth. — Tramway électrique..... 15
Bosh. — Verrou électrique..... 63
Boucherot (Paul). — Sur les condensateurs agissant par transformateurs d'induction et directement..... 151
— La déformation des sinusoïdes dans les machines..... 551
Bovet (de). — Frein électromagnétique..... 277
Bradley. — Dynamo..... 111
— Dynamo..... 416
Brasse (Dr L.). — Préparation de la gutta-percha. 101, 216
Braun. — Lampe à arc..... 164
Brockie. — Lampe à arc..... 511
Brown (J.) — Piles voltaïques à électrolytes fondus. 94
— Protecteur et contrôleur de transformateurs... 528
— A propos du nouveau moteur à courants alternatifs..... 371
Brylinski (E.). — Sur l'électrification de la gutta-percha..... 601
Burleigh. — Lampe à incandescence..... 620
Burrell. — Régulateur..... 61
Burton. — Soudure électrique..... 302
— Forge électrique..... 302

C

Cannot. — Blanchiment de la tourbe..... 275
Carvallo (E.) — Nouvelle loi d'induction électromagnétique..... 18

Pages

Cattori. — Traction électrique avec distribution en série par canalisation souterraine..... 233
Chattock (**A.-P.**) — Sur une théorie électrolytique des diélectriques..... 244, 284
Charleton. — Câbles de sûreté pour transmissions minières..... 363
Clamond. — Microphone..... 132
Clark. — Caniveaux pour câbles isolés..... 186
Clavenad. — Sur les mouvements vibratoires dans un milieu isotrope..... 272
— Sur les équations physiques..... 124
Coad. — Lampe à incandescence..... 621
Coffin. — Forge électrique à l'étampe..... 306
— Fers à souder..... 309
Colling. — Alternateur..... 108
Coradson. — Dynamo..... 14
Cornu (**A.**) — Sur la corrélation des phénomènes d'électricité statique et dynamique..... 464
Cowan. — Collecteur multiple..... 109
Craney. — Appareil électrolyseur..... 32
Crompton. — Projecteur..... 512
— Canalisation..... 186
Crehore (**A.-C.**). — Analogies entre les formules de mécanique et d'électricité..... 487
Cross. — Fabrication électrolytique du chlore et de la soude..... 421

D

Davis. — Canalisation..... 186
Decrow. — Appel..... 65
Depoele (**Van**). — Dynamo..... 469
Dingle. — Coupe-circuit..... 30
Dowson (**E.**) — Les moteurs à gaz dans l'éclairage électrique..... 274
Drake. — Lampe à incandescence..... 620

E

Eaton. — Machine à écrire..... 251
Edmondson. — Compteurs pendulaires..... 519
Edwards. — Lampe à arc..... 161
— Turbo-moteur..... 31
Eickemeyer. — Accumulateur..... 32
Elkins. — Régulateur..... 113
Ellinger. — L'indice de réfraction des rayons électriques dans l'alcool..... 244

Pages

Ellis (**W.**) — Sur la simultanéité des variations magnétiques en des lieux différents et sur une relation entre ces variations et celles des courants terrestres..... 192
Elroy Mac. — Régulateur..... 113
— Dynamo..... 113
Ethridge. — Horloges..... 63
Evered. — Lampe à incandescence..... 212

F

Fein. — Sonnerie et signal à détonation..... 373
Fleming (**J.-A.**) — Recherches expérimentales sur les transformateurs à courants alternatifs 239, 283, 330, 387, 429, 536
Fletcher. — Bain électrolytique double..... 32
— Indicateur de vitesse, transmetteur..... 364
Forster. — Lampe à incandescence..... 620
Frey. — Lampe à incandescence..... 212, 619
Frœlich (**O.**). — Sur la détermination des défauts d'isolement des canalisations électriques en service..... 475, 520
Furnaux. — Dynamo..... 414

G

Géraldy (**Frank**). — L'électricité et la végétation... 376
— Sur la corrélation des phénomènes d'électricité statique et dynamique..... 464
— Le bureau de contrôle des installations électriques..... 165
— Sur la mise à la terre des circuits conducteurs. 310
— Etude de M. Hess sur les diélectriques. Société internationale des électriciens..... 279
— La téléphonie à grande distance..... 562
Giraud. — Poêle thermo-électrique..... 231
Goerges (**H.**) — Sur les variations des tensions dans le système à courants triphasés..... 81
— Sur le débit spécifique des induits de dynamos avec courant continu, courants alternatifs et courants polyphasés..... 133
Goold. — Commutateur..... 580
Gore (**G.**) — Relation entre la force électromotrice voltaïque et la pression..... 530, 592
Graffigny (**H. de**). — Les turbines électriques..... 319
Griscom. — Accumulateur..... 429
Groper. — Téléphone..... 321

Pages

Grover. — Lampe à incandescence..... 215
Guilbert (**F**). — Self-induction et capacité 117, 222, 261
— Les procédés Hutin et Leblanc pour la transformation des courants alternatifs en courants continus..... 51
— Moteur Bary..... 420
— Etalon secondaire pour la photométrie des lampes à arc..... 573

H

Halske. — Distribution polyphasée..... 116
— Station centrale d'électricité de Mulhouse..... 178
Hansen — Lampe à arc..... 508
Hard. — Pile séche au chlorure d'argent..... 83
Harrington. — Transmission..... 467
Hart. — Boîte de canalisation..... 323
Hayes. — Téléphone double..... 129
Heerwagen (**E**.). — Méthode de réduction à zéro pour la mesure des pouvoirs inducteurs de liquides conducteurs..... 629
Hemming. — Dynamo..... 412
Henry (**Charles**). — Photométrie et photoptométrie. 201, 564
Hersey. — Contrôleur de rondes..... 65
Hertz. — Sur la dissipation de l'énergie électrique dans le résonateur..... 91
— Appareils de démonstration des expériences de. 334
Hess (**A**.) — Hystérésis et viscosité diélectriques... 466
— Théorie des diélectriques, leur hystérésis, etc. Société internationale des électriciens..... 279
Hewett. — Déclenchement..... 62
Higgam. — Lampe à arc..... 158
Hougton. — Lampe à arc..... 508
— Régulateur..... 115
— Lampe à incandescence..... 213
Hunt. — Trolly..... 15
— Transmission articulée..... 14
Hunter. — Tramway électrique..... 14
Hutchinson. — Lampe à incandescence..... 620
Hutin. — Les procédés pour la transformation des courants alternatifs en courants continus... 51
— A propos du nouveau moteur à courants alternatifs de M. Brown..... 371

I

Illig. — Ampèremètre..... 578
Irish. — Voie souterraine..... 470

J

Pages

Jaeger (**W**.) — Note sur la purification du mercure. 238
Janet. — Détermination des coefficients de self-induction au moyen des oscillations électriques. 336
Johnston. — Dynamo..... 413
— Indicateur de vitesse, transmetteur..... 364

K

Keil. — Lampe à incandescence..... 621
Kellner. — Electrolyse au mercure..... 176
Kelman. — Plomb fusible..... 28
Kennelly (**A.-E**.) — Wattmètre différentiel pour courants alternatifs..... 378
Korner. — Lampe à incandescence..... 214
Kottgen. — Téléphone domestique..... 276

L

Lamme. — Dynamo..... 412
Laval. — Turbo-moteur..... 321
Lean. — Lampe à incandescence..... 619
Leblanc. — Les procédés pour la transformation des courants alternatifs en courants continus... 51
— A propos du nouveau moteur à courants alternatifs de M. Brown..... 371
Ledeboer (**P.-H**.). — Sur les progrès de l'électricité en 1892.....
Lovett. — Trieur électromagnétique..... 23
Lundell. — Dynamo..... 413
Lydall (**Francis**). — Propriétés magnétiques du fer pur..... 485

M

Malagoli (**Riccardo D**r). — Contribution à la théorie de l'électrolyse par courants alternatifs. 451, 610
Mansfield. — Tramway à contacts..... 471
Maquaire. — Lampe à arc..... 160
Maquay. — Pile..... 422
Martin. — Signaleur..... 364
Mason. — Trolly..... 470
Mathiesen. — Lampe à arc..... 158

Pages

Meissner. — Lampe à arc..... 160
Michel. — Accumulateurs..... 474
Mito (von). — Lampe à incandescence..... 618
Mix et Genest. — Sonneries et annonciateurs..... 83
— Appareils téléphoniques..... 423
Moore (J.-E.). — Courbes d'aimantation du fer sous l'influence des courants alternatifs..... 626
— Méthode magnétométrique pour la mesure des pertes dans le fer sous l'action de forces magnétisantes alternatives..... 627
Morisse (Dr Lucien). — Le caoutchouc du Haut-Orénoque..... 287, 337, 441, 489
Mosher. — Lampe à arc..... 159
Muirhead. — Caniveaux pour câbles isolés..... 186

N

Neal. — Machine à écrire..... 251
Nebel. — Alternateur..... 108

O

Oulton. — Compteurs pendulaires..... 519

P

Pain. — Piano électrique..... 369
Palmieri (L.). — Collecteur de l'électricité atmosphérique..... 506
— La théorie positive de l'électricité atmosphérique confirmée par des observations et expériences nouvelles..... 69, 167
Parcell. — Dynamo..... 111
Parrot. — Dynamo..... 110
Patterson. — Dynamo..... 414
Pattison. — Coupe-circuit multiple..... 384
Peichl (Von). — Boussole auto-directrice..... 364
Pellissier (G.). — Le réseau d'avertisseurs électriques d'incendie de la ville de Paris..... 401
— La station centrale de Dessau..... 266, 312
— L'action de l'électricité sur la vapeur d'eau et la production artificielle de la pluie..... 501
Pfanckuche. — Distribution..... 114
Picard. — Fabrication électrolytique des tubes (procédé de)..... 322
Picou. — Servo-frein électrique..... 328

Pages

Picou. — Mise à la terre des circuits de distribution. Société internationale des électriciens..... 280
Pinna. — Tannage électrique (procédé de)..... 185
Placet. — Raffinage électrolytique des métaux..... 183
Pochin. — Projecteur..... 512
Pocklington (Alfred). — Propriétés magnétiques du fer pur..... 485
Pocock. — Pompe électrique..... 61
Ponthière (H.). — Un nouveau procédé électrocalorifique..... 459
Pratt. — Isolateurs au mica..... 236
Preece (W.-H.). — Le développement de l'électricité 543, 593
— La téléphonie à grande distance et la loi de... 580
Purcell. — Raccordement..... 385
Purdy. — Trempe électrique..... 309

Q

Quincke (G.). — Simplification des instruments de mesure..... 630

R

Rathbone. — Lampe à arc..... 508
Reid. — Dispositif régulateur de la pression de vapeur..... 27
Reignier. — Dynamo..... 110
Richard (Gustave). — Applications mécaniques de l'électricité..... 61, 261, 363
— Chemins de fer et tramways électriques.. 12, 466
— Détails de construction des machines dynamo 107, 412
— Les lampes à incandescence..... 212, 618
— Les lampes à arc..... 158, 507
— La soudure électrique..... 301
Richards. — Téléphone double..... 129
Ries (E.). — Forge électrique..... 306
Rigaut (A.). — La reproduction du diamant et les fours électriques..... 317
— Sur quelques nouveaux fours électriques..... 575
Riker. — Tramway électrique..... 16
Ritchie. — Boussole..... 474
Rockwell. — Lampe à incandescence..... 620
Ross. — Sonnerie..... 64
Rowland (H.-A.). — L'effet des harmoniques sur la transmission de l'énergie à courants alternatifs..... 42
Russel (A.). — Erreurs d'observation dans la méthode des trois voltmètres..... 190
— Impédance d'un circuit formé de dérivations.. 533

Pages

Ryan (**J.**). — Sur une méthode de compensation de la réaction d'induit 237

S

Safford. — Relais télégraphique 276
Sandy. — Lampe à arc 163
Sanford (**Fernando**). — Une modification nécessaire de la loi d'Ohm 138
Sayers — Lampe à arc 511
Schuckert. — Compteur-moteur 182
Scribner. — Rappel 367
— Tableau téléphonique multiple (Western Electric C°) 322
— Anti-inducteur pour tableaux multiples 277
— Lampe à arc 161
— Circuit d'épreuve pour tableaux téléphoniques multiples 624
See. — Manœuvre d'ascenseur électrique 363
Siemens. — Transformateur à perte magnétique réduite 473
— Dynamo 13
— Alternateur 108
— Distribution polyphasée 116
— Lampe à arc 512
— Armature à pôles articulés 13
Singer — Clavier d'expression 371
Skoda. — Mire électrique 67
Smith. — Lampe à incandescence 212
Soley. — Transmission variable 14
Stanley. — Plomb fusible 28
Steinmetz (**Ch.-P.**) — Influence de la fréquence dans le fonctionnement des transformateurs. 391
Storey, — Dynamo 417
Stepney. — Lampe à incandescence 618
Sugden. — Lampe à arc 163
Sumpner (**W.-E**). — Transformateurs à circuits magnétiques ouverts et fermés 187
Swinton. — Téléphone 33
Swinton Campbell (**A.**). — Expériences de décharges électriques de haute fréquence 535
Sylva (**Da**). — Avertisseur d'incendie 66

T

Tanière. — Fabrication électrolytique des tubes (procédé de) 322
Teague. — Compteur 29
Tesla (**Nikola**). — Les effets physiologiques et autres des courants de haute fréquence 535

Pages

Tesla. — Sur la dissipation de l'énergie électrique dans le résonateur de Hertz 91
— Transmission 418
Thomas (**E**). — Photomètre au sélénium 29
Thomson (**E.**). — Transformateur compensateur ... 116
— Lampe à arc 507
— Soudure électrique 306
— Coupe-circuit 578
Thornton. — Caniveaux pour câbles isolés 186
Threlfall (**R.**). — La préparation de l'azote pur et les propriétés électriques des substances pures 533
Tilden. — Contrôleur de rondes 65
Tingley (**E.-M.**). — Courbes d'aimantation pour la mesure des pouvoirs inducteurs de liquides conducteurs 629
Tipping. — Lampe à arc 163
Tyler. — Manœuvre d'ascenseur électrique 363

U

Unwin (**Cawthorne**). — La production et la distribution de l'énergie par stations centrales ... 324
Urquhart. — Coupe-circuit 30

V

Vaschy. — Sur les réseaux de conducteurs électriques. Propriété réciproque de deux branches. 189
Venezian. — Machine à courant continu sans collecteur 384
Vicentini (**J.**). — Sur quelques phénomènes lumineux provoqués dans l'air raréfié par la décharge électrique traversant un conducteur continu 142
Vislicenus. — Les lois électriques et la chimie 141
Vogt. — Pile sèche 130

W

Wacker. — Compteur-moteur 182
Wagner. — Sonnerie 365
Walker. — Câbles de sûreté pour transmissions minières 363
Washburn. — Pile 133
— Accumulateur cellulaire 474

Pages

Warner. — Lampe à arc..... 162
Weston. — Voltmètre..... 83
— Ampèremètre enregistreur..... 579
Westinghouse. — Nouvelle lampe..... 383
Wetzler (**J.**). — Détails de construction de la nouvelle ligne téléphonique New-York-Chicago. 79
Weyde (**J.-F.**). — Le poids spécifique du peroxyde de plomb formé dans les accumulateurs.... 133
White. — Dynamo..... 414
— Lampe à incandescence..... 213
— Régulateur..... 115
Willyoung. — Un nouveau galvanomètre balistique..... 425
Winand (**P.-A.**) — Sur les courants polyphasés... 587

Pages

Witcher (**J.**). — Les calculs des transformateurs et des bobines de réaction..... 621
Wood. — Balais pour dynamo..... 112
— Dynamo..... 416
— Lampe à arc..... 509
Wynne. — Système de traction électrique..... 78

Z

Zehnder (**L.**). — Appareils de démonstration des expériences de Hertz..... 334
Zetzsche (**E.**). — Sonnerie et signal à détonation... 373

Paris. — Imprimerie de la Lumière Électrique, 31, boulevard des Italiens.

8.00
binding 2.28
4 vols. 10.28

UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
3 0112 059563715